



Hinc patriam sustinet

Instituto Superior de Agronomia
Universidade Técnica de Lisboa



CARACTERIZAÇÃO DO REGIME DO FOGO NA GUINÉ-BISSAU

INFLUÊNCIA ANTROPOGÉNICA

Joana Lisboa Brandão de Melo

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais

Orientador: Professor José Miguel Cardoso Pereira

Co-orientador: Mestre Duarte Pedro Jácome Félix Oom

Co-orientador: Doutora Marina Padrão Temudo

Júri:

Presidente: Doutor Francisco Manuel Cardoso de Castro Rego, Professor Associado do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa

Vogais: Doutor José Miguel Cardoso Pereira, Professor Catedrático do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa

Doutor João Manuel das Neves Silva, Investigador Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa

Lisboa, 2010

AGRADECIMENTOS

A possibilidade de poder aplicar todos os conhecimentos técnicos, e puramente académicos, adquiridos ao longo de cinco anos de estudo, num contexto tão estimulante como o do projecto em que este trabalho se insere, foi um entusiasmo e um orgulho.

A todos os que participam e tornaram possível o projecto "Carboveg-GB: Quantificação do carbono armazenado e da capacidade de sumidouro da vegetação florestal da Guiné-Bissau". Em particular à Doutora Maria José Vasconcelos, coordenadora do projecto, pela sua visão e dinamismo, por me ter fascinado com este trabalho e ter promovido esta oportunidade.

Ao meu orientador, o Professor José Miguel Cardoso Pereira, por me ter cativado com a detecção remota e as suas possibilidades, pela sua contínua capacidade de me (re)animar em alturas de maior frustração.

À Doutora Marina Temudo, minha co-orientadora, porque este trabalho não me faria qualquer sentido sem a abordagem multidisciplinar que a sua experiência e conhecimentos permitem.

Ao Duarte Oom, meu co-orientador, pelo permanente apoio e por me ter socorrido em todos os passos deste trabalho. Por me ter ajudado a ser tão independente tecnicamente. Obviamente, pela amizade e confiança.

Aos meus companheiros de sala - Patrícia, Duarte e João Silva -, por terem tornado este trabalho muito mais divertido do que poderia ter sido.

Durante este último ano que passou, enquanto desenvolvia este trabalho, muita coisa em mim e à minha volta mudou... aos meus pais, irmãos e todas as pessoas permanentes na minha vida, àquelas que saíram e àquelas que chegaram.

Ao João, por me ser tão estimulante, por, sob disfarce, ser tão intenso e apaixonado. Porque, neste último ano, foi quem mais me marcou.

RESUMO

O continente Africano é o principal responsável pela emissão de gases com efeito de estufa resultante da queima de biomassa. Este estudo confirma a importância dos factores antropogénicos na ocorrência do fogo em regiões de savana da África Ocidental e contribui para a compreensão da interacção entre os vários factores que determinam a sua ocorrência - climáticos, físicos e antropogénicos -, particularmente na Guiné-Bissau. A detecção remota por satélite é a única forma verdadeiramente exequível para a detecção e monitorização da ocorrência de fogo, garantindo consistência na observação com possibilidade de amostragem contínua e espacialmente explícita do mesmo território. Utilizaram-se produtos do sensor MODIS e dados do satélite Landsat para efectuar a análise dinâmica das queimadas na Guiné-Bissau. Foram identificados dois picos de ocorrência do fogo no início e no final da época seca, correspondendo respectivamente a queimadas descontroladas, destinadas sobretudo à caça, e a queimadas agrícolas. Este padrão não está presente em toda a extensão do país de igual forma, já que depende fortemente de factores culturais. Foi estimada uma grande variabilidade inter-regional na área ardida mas um padrão generalizado de diminuição da área ardida no início da época seca e aumento no final da mesma.

Palavras-chave: regime do fogo, savana, Guiné-Bissau

ABSTRACT

Africa is the single largest continental source of greenhouse gases emissions resulting from biomass burning. This study acknowledges the generally agreed opinion that the occurrence of fires on West Africa savannas is mainly influenced by human factors. It also provides insights into the physical, climatic, and human drivers of fire and their relative importance across Guinea-Bissau. Each cause of fire has a unique spatial and temporal distribution with its own consequences for fire regime in Guinea-Bissau. Satellite remote sensing techniques provide the only realistic means of obtaining fire information at a national scale, thus ensuring consistency in the observation with the possibility of spatially explicit and continuous sampling of the same territory. This work uses 1-km MODIS active fire and burned area products, from 2001 to 2008, supplemented with Landsat data, to describe the fire regime in Guinea-Bissau. Detailed and current information concerning the location and extent of the burnt areas is provided. A high frequency of “early fires”, from bushfires, and “late fires”, predominantly associated with agricultural areas, were identified. This pattern is not present in the entire length of the country and depends heavily on cultural factors - dominant ethnic group. It was estimated a large inter-regional variability in area burned but a pervasive pattern of decrease in area burned in the early dry season and an increase at the end of it.

Keywords: fire regime, savanna, Guinea-Bissau

EXTENDED ABSTRACT

In most ecosystems, fire is a natural event, a change agent, both in space and time. It plays a beneficial role in the regeneration of vegetation, releases nutrients and enhances biodiversity, being present in the management of all land ecosystems. Fire regime, determined by their frequency, size, intensity, predictability and seasonality, is not static, and depends on factors which, through their interaction, determine the fire regime. Fire is considered a permanent characteristic of the biodiversity of various ecosystems of Sub-Saharan African tropical and subtropical savanna.

Guinea-Bissau (GB) is among the ten poorest countries in the world, with approximately 80% of the population depending directly on natural resources for their subsistence. Having ratified the Kyoto Protocol in 2005, GB is therefore qualified to participate in the Clean Development Mechanisms. As part of this integration, the country is currently undergoing construction of a baseline through the CARBOVEG-GB project which will ensure that qualification.

The overall objective of this study was to characterize the fire regime in GB, using remote sensing data and its interpretation in view of the determinants of fire regime, including anthropogenic. Active fires and burned area products of the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) sensor were tested (2001-2008 period) to determine some parameters of fire regime on a national scale. Subsequently, the capacity of the burnt area mapping based on high spatial resolution remote sensing data (Landsat) to assess some components of the fire on an intra- (various phases of the dry season) and inter-annual (1986, 2002, 2007) perspective, in a selected region of GB, was carried out.

A fire rotation period (FRP) of 21 years was estimated for Guinea-Bissau, which indicates the number of years it takes to burn an area equivalent to the country. This value, when compared with other countries, including Portugal, is very low and indicates a high incidence of fire. Its inverse represents the annual percentage of burned area (4.8%), i.e., the proportion of the area of Guinea-Bissau burning, on average, each year. The occurrence of fires in Guinea-Bissau shows the same pattern and frequency characteristic of the savanna regions of West Africa. Two peaks of occurrence are evident, one at the start of the dry season (January and February) and another at the end of the dry season (May and June). The former are generally more uncontrolled and greater in extent, and correspond to wildfires (bush fires) associated with hunting and promoting regeneration of the canopy for cattle.

This study confirms the widespread theory about the importance that anthropogenic factors play in fire occurrence in savanna regions of West Africa, and shows the interaction among several factors that determine fire occurrence - climatic, physical and human- and their importance in Guinea-Bissau. Furthermore, this study also identified that the country's agricultural system is subjected to a heavy dependence on external factors, e.g., market prices for cashews and rice, climatic conditions. This dependence causes a high variability of agricultural systems adopted by the populations, e.g., the instability in food security resulted in a return to the practice of shifting agriculture using fire.

Fire, as a tool of deforestation and degradation of natural resources, deserves greater attention nowadays, given the awareness that deforestation plays an important role on the emission of greenhouse gases. This work intended to be only a first approach to the theme of fire in GB, a country for which there is very little information available.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE QUADROS	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	5
2.1. ZONAS FITOGEográfICAS DA GUINÉ-BISSAU.....	6
2.1.1. Clima	7
2.1.2. Coberto Vegetal.....	8
2.1.3. Topografia e solos.....	10
2.2. CARACTERÍSTICAS DA POPULAÇÃO E DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO	11
2.3. FACTORES ANTROPOGÉNICOS NA OCORRÊNCIA DO FOGO	14
3. DADOS.....	19
3.1. PRODUTOS MODIS.....	19
3.1.1. Área Ardida.....	20
3.1.2. Coberto do Solo (<i>Land Cover</i>).....	20
3.1.3. Fogos Activos	21
3.2. IMAGENS DE SATÉLITE LANDSAT	21
3.2.1. Breve descrição do programa Landsat	21
3.2.2. Landsat 5 TM e Landsat 7 ETM+	22
3.2.3. Descrição das imagens utilizadas	23
4. METODOLOGIA.....	26
4.1. ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE ALGUNS PARÂMETROS DO REGIME DO FOGO.....	26
4.2. CLASSIFICAÇÃO E VERIFICAÇÃO DAS ÁREAS ARDIDAS.....	27
4.2.1. Áreas de treino	28
4.2.2. Classificador de Máxima Verosimilhança.....	31
4.2.3. Verificação da classificação automática	31
5. RESULTADOS	35
5.1. ALGUNS PARAMETROS DO REGIME FOGO	35
5.2. CARTOGRAFIA DAS ÁREAS ARDIDAS	41

5.2.1.	Separabilidade espectral e precisão da cartografia produzida.....	41
5.2.2.	Áreas ardidas	42
6.	DISCUSSÃO.....	55
6.1.	ALGUNS PARAMETROS DO REGIME DO FOGO	55
6.2.	SAZONALIDADE.....	60
6.3.	CARTOGRAFIA DAS ÁREAS ARDIDAS	63
6.4.	CASOS DE ESTUDO.....	63
7.	CONCLUSÕES	68
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa administrativo da Guiné-Bissau. Representação dos países vizinhos (República do Senegal e República da Guiné), fronteira internacional, regiões, capital do país (Bissau), capitais das regiões, principais cidades, estradas, caminho-de-ferro e aeroportos (Fonte: Secção Cartográfica do Departamento de Informação Pública das Nações Unidas).	5
Figura 2. Limites administrativos das regiões e sectores da Guiné-Bissau (Fonte: Global Administrative Areas, GADM, 2010).	6
Figura 3. Esboço das zonas fitogeográficas da Guiné-Bissau; Zona Sul (S), Zona Noroeste (N) e Zona Leste (L) (Fonte: Adaptado de Catarino, 2004).	7
Figura 4. Carta de isolinhas de precipitação anual (Fonte: Costa e Resende, 1994)	8
Figura 5. Mapa de vegetação da Guiné-Bissau (Fonte: PAIGC, 1974, em Costa e Resende, 1994)	8
Figura 6. Produção (toneladas) de castanha de caju entre 1980 e 2008, obtida por dados oficiais e estimativa da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação (FAO) (Fonte: FAO, 2010).	10
Figura 7. Representatividade das principais etnias da Guiné-Bissau.	12
Figura 8. Distribuição étnica na Guiné-Bissau: a) etnias transfronteiriças; b) etnias sem projecção transfronteiriça. (Fonte: Instituto Geográfico do Exército, IGE, 2001)	14
Figura 9. Grelha de 1ºx1º sobre a Guiné-Bissau. São assinaladas as quatro quadrículas sobre as quais se extraíram os dados: Noroeste (NO), Nordeste (NE), Sudoeste (SO) e Sudeste (SE).	15
Figura 10. Séries temporais entre Julho de 2002 e Julho de 2007 com representação do número de fogos activos do produto MODIS (vermelho) e CBI (azul), e com resolução espacial de 1º; as linhas mais claras representam períodos de oito dias e as mais escuras são as mesmas séries após aplicação do filtro Savitzky-Golay; a) NO, lat. 12ºN e long. 15ºW; b) NE, lat. 12ºN e long. 14ºW; c) SO, lat. 11ºN e long. 15ºW; d) SE lat. 11ºN e long. 14ºW (Fonte: dados disponibilizados por Le Page, 2010).	16
Figura 11. Grelha sinusoidal MODIS com ênfase na janela H-16 V-7 que abrange a Guiné-Bissau (Fonte: https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/products/modis_overview).	19
Figura 12. Posição relativa da área de estudo na Guiné-Bissau e limites administrativos dos seus sectores. Composição colorida RGB - canais 7, 4 e 3 -, da imagem em estudo, trajectória (Path)/linha (Row) 204/52 do satélite Landsat.	24
Figura 13. Sequência de imagens Landsat 5 (RGB 743) correspondente à época seca de 2007. Selecção de áreas de treino para a classe "Ardido" (rectângulo amarelo) por detecção de alterações no coberto (savana herbácea), numa mesma área, em imagens de diferentes datas (rectângulos pretos), e por detecção de alterações do ND médio: a) 27 de Janeiro; b) 28 de Fevereiro, com observação de fogo activo (elipse branca) e selecção de área de treino para a classe "Ardido" (rectângulo amarelo); c) 1 de Abril; d) 19 de Maio; e) diagrama da média das assinaturas espectrais das bandas 1 a 5 e 7 da mesma área nas quatro imagens descritas; f) diagrama da média das assinaturas espectrais da banda 6 na mesma área das quatro imagens apresentadas.	30

Figura 14. Erros de classificação automática em imagens Landsat 5 (RGB 743) correspondente à época seca de 2007 e respectiva correcção: a) imagem 19/05/2007 classificada (vermelho) com observação de erro por comissão nos polígonos de área ardida (vermelho); b) correcção dos perímetros de área ardida (vermelho) na imagem de 19/05/2007; c) imagem 28/02/2007 classificada (vermelho) com observação de erro por omissão; d) correcção dos perímetros de área ardida (vermelho) na imagem de 28/02/2007.....	32
Figura 15. Composição colorida RGB - canais 7, 4 e 3, respectivamente -, de uma secção da imagem Landsat ETM+ de 11/04/2002, sobre a qual se observam os perímetros de áreas afectadas pelo fogo resultantes da classificação automática e já editados manualmente (vermelho), os polígonos do produto de área ardida do sensor MODIS (polígonos brancos) e o produto de fogos activos do sensor MODIS (cruzes brancas).....	33
Figura 16. Média anual, valor máximo e mínimo da área ardida (ha) por região da Guiné-Bissau, para os anos 2001-2006 e 2008.....	35
Figura 17. Percentagem de área ardida por região e por cada ano em análise.	36
Figura 18. Período de Rotação do Fogo (PRF, anos) por regiões da Guiné-Bissau, para o período 2001 – 2006 e 2008.	37
Figura 19. Percentagem anual de área ardida por regiões da Guiné-Bissau para o conjunto de anos em análise.	37
Figura 20. Contagem de ocorrências de fogos activos (produto de fogos activos do sensor MODIS) entre os anos 2001 e 2008 para a Guiné-Bissau com a aplicação de um filtro de média móvel de 10 dias.	39
Figura 21. Média do número de fogos activos (produto de fogos activos do sensor MODIS) no período 2001-2008, após a aplicação de um filtro de média móvel de dez dias. Identificam-se as imagens Landsat correspondentes a cada um dos anos em análise - 1986, 2002 e 2007 -, ao longo da época seca, com informação da percentagem cumulativa do número médio de fogos activos até à respectiva data.	39
Figura 22. Número médio de ocorrências de fogos activos (produto de fogos activos do sensor MODIS) entre os anos 2001 e 2008, para as regiões Gabu e Tombali, com a aplicação de um filtro de média móvel de 10 dias.....	40
Figura 23. Número médio de ocorrências de fogos activos (produto de fogos activos do sensor MODIS) entre os anos 2001 e 2008, para os sectores Bedanda e Quebo da região de Tombali, com a aplicação de um filtro de média móvel de 10 dias.....	40
Figura 24. Densidade de fogos e densidade populacional, por região da Guiné-Bissau.	41
Figura 25. Área ardida para a zona da Guiné-Bissau correspondente à imagem Landsat 204/52, para os anos de a) 1986 (dias 18/02 e 07/04), b) 2002 (dias 21/01, 22/02, 11/04 e 13/05), e c) 2007 (dias 27/01, 28/02, 01/04 e 19/05).	44
Figura 26. Área ardida (ha) cartografada em cada imagem (data) Landsat.....	47
Figura 27. Área ardida por sector para a área em estudo nos anos 1986, 2002 e 2007. Todos os sectores que, por não terem a sua área totalmente incluída na análise, estão assinalados com *.....	47

Figura 28. Área ardida (ha) por sector cartografada nas imagens de 18/02/1986 e 18/04/86. Todos os sectores que, por não terem a sua área totalmente considerada na análise, estão assinalados com *.	48
Figura 29. Área ardida (ha) por sector cartografada nas imagens de 01/01/2002, 22/02/2002, 11/04/2002 e 13/05/2002. Todos os sectores que, por não terem a sua área totalmente considerada na análise, estão assinalados com *.	48
Figura 30. Área ardida (ha) por sector cartografada nas imagens de 27/01/2007, 28/02/2007, 01/04/2007 e 19/05/2007. Todos os sectores que, por não terem a sua área totalmente considerada na análise, estão assinalados com *.	49
Figura 31. Área ardida (imagem Landsat 204/52) por classe de coberto do solo ao longo da época seca de 2002.	49
Figura 32. Área ardida (imagem Landsat 204/52) por classe de coberto do solo ao longo da época seca de 2007.	49
Figura 33. Comparação entre a proporção que a área de cada classe de coberto ocupa e a proporção de área ardida em cada uma delas. Valores médios dos anos 2002 e 2007.	50
Figura 34. Caso de estudo para a região de Quínara; a) inclusão geral na GB; b) ampliação sobre a região de Quínara, com indicação dos sectores e rede viária; área ardida nas várias datas de c) 1986, d) 2002, e e) 2007.	51
Figura 35. Caso de estudo para a região de Tombali; a) inclusão geral na GB; b) ampliação sobre a região de Tombali, com indicação dos sectores e rede viária; área ardida nas datas de c) 1986, d) 2002, e e) 2007.	52
Figura 36. Evolução temporal (mensal e anual) de área ardida, nos vários sectores da região de Tombali.	53
Figura 37. Evolução temporal (mensal e anual) de área ardida, nos vários sectores da região de Quínara.	54
Figura 38. Relação entre percentagem anual de área ardida e densidade de fogos por região com destaque para as regiões de Quínara e Tombali.	58
Figura 39. Número de habitantes por fogo em cada região da Guiné-Bissau; relação entre a densidade populacional e densidade de fogos em cada uma das regiões.	59
Figura 40. Carta 1:50 000 (1956). Sector de Empada (região de Quínara). Perímetros das áreas ardidas correspondentes às imagens Landsat de 13/05/2002 (azul) e de 19/05/2007 (vermelho).	66
Figura 41. Carta 1:50 000 (1956). Sector de Catió (região de Tombali). Perímetros das áreas ardidas correspondentes à imagem 19/05/2007 (vermelho) e restantes imagens de 2007 (preto).	66
Figura 42. Legenda das classes de coberto das cartas 1:50 000 (1953)	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Densidade populacional estimada para 2007 (habitantes/km ²), com base nos valores populacionais do censo de 1991 (INEC).....	11
Quadro 2. Correspondência entre legenda do produto de coberto do solo (MCD12Q1) do sensor MODIS e a legenda adaptada neste estudo	21
Quadro 3. Características espectrais e espaciais do sensor TM.	23
Quadro 4. Data das imagens Landsat utilizadas para a posição (Path/Row) 204/52 da Guiné-Bissau.	24
Quadro 5. Número de <i>pixels</i> de treino seleccionados para cada uma das classes (ardido vs. não ardido) em cada uma das imagens Landsat analisadas.	31
Quadro 6. Valores absolutos (ha) e percentuais (entre parêntesis) de área ardida por ano e região, bem como valores totais para a Guiné-Bissau. Indicam-se também os valores do Período de Rotação do Fogo (PRF, anos) e percentagem anual de área ardida (%AAA) por região, para o período considerado.	36
Quadro 7. Incidência relativa (IR) do fogo por ano e região; IR média por região.....	38
Quadro 8. Distância de Jeffries-Matusita para determinação da separabilidade espectral entre a assinatura espectral das áreas de treino recolhidas para as duas classes ("ardido" e "não ardido") nas dez imagens Landsat em análise.	41
Quadro 9. Medidas de validação para as classificações obtidas pelo classificador de Máxima Verosimilhança; EG – exactidão global, ICK – índice de concordância kappa, EO – erro de omissão, EC – erro de comissão, A – ardido, e NA – não ardido.....	42
Quadro 10. Sectores da Guiné-Bissau presentes na imagem Landsat (Path/Row 204/52), respectiva área total, e área incluída neste estudo. O sector de Gamamundo, cuja área incluída na imagem é tão pequena, não será usado na análise, surgindo representado com um *	43
Quadro 11. Área ardida (ha) discriminada por data da imagem Landsat e por sector. Todos os sectores que, por não terem a sua área totalmente considerada na análise, estão assinalados com *.	46
Quadro 12. Percentagem cumulativa de contagens de fogos coincidente com a data de cada imagem; área total (ha) ardida em cada data; área total ardida cumulativa (ha) por ano em análise	62

LISTA DE ABREVIATURAS

A – Ardido

CARBOVEG-GB - Quantificação do Carbono Armazenado e da Capacidade de Sumidouro da Vegetação Florestal da Guiné-Bissau (Projecto)

CBI - *Chandler Burning Index*

EC – Erro de Comissão

EG – Exactidão Global

EO – Erro de Omissão

EOS - Earth Observing System

EROS - Earth Resources Observation and Science

ERTS - Earth Resources Technology Satellites

ETM+ - Enhanced Thematic Mapper Plus

GB – República da Guiné-Bissau

ICK – Índice de Concordância Kappa

INEC - Instituto Nacional de Estatística e Censos da Guiné-Bissau

IR – Incidência Relativa

IVM – Infravermelho Médio

IVP – Infravermelho Próximo

LP DAAC - Land Processes Distributed Active Archive Center

MDL - Mecanismos de Desenvolvimento Limpo

MODIS – Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

MRNEGB - Ministério dos Recursos Naturais e Energia da Guiné-Bissau

MSS - Multispectral Scanner System

NA – Não Ardido

NASA- National Aeronautics and Space Administration

ND – Número Digital

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration

ODM - Objectivos de Desenvolvimento do Milénio

ONU – Organização das Nações Unidas

PAIGC – Partido Africano para a Independência da Guiné e Cabo Verde

PRF – Período de Rotação do Fogo

REDD - Reduced Emissions from Deforestation and Degradation

TM – Thematic Mapper

USGS - United States Geological Survey

UTM - Universal Transverse Mercator

WGS84 – World Geodetic System 1984

ZITC - Zona Intertropical de Convergência

1. INTRODUÇÃO

Na maioria dos ecossistemas terrestres, o fogo é um fenómeno de perturbação natural, um agente de mudança omnipresente no espaço e no tempo (Agee, 1993), que desempenha uma função benéfica na regeneração da vegetação, liberta os nutrientes e estimula a biodiversidade. O regime do fogo, caracterizado pela sua frequência, dimensão, intensidade, predictabilidade e sazonalidade, não é estático (Morgan et al., 2001), e é determinado pela interacção de diferentes factores. Na ausência do Homem, o regime do fogo é determinado pela interacção entre vegetação e clima. Contudo, apesar de ser um fenómeno com impacte na Terra há mais de 400 milhões de anos, tudo mudou profundamente quando os primeiros hominídeos aprenderam a manuseá-lo e a controlá-lo à sua vontade, ocupando um lugar de destaque no triângulo do fogo (Pyne, 2001). Com uma nova fonte de ignição, é certo que o fogo aumentou a frequência da sua ocorrência, mas é também certo que a distribuição espacial e temporal dessa incidência se alterou (Nielsen, 2000).

O fogo é considerado, desde sempre, e até aos dias de hoje, uma irrevogável característica da biodiversidade dos vários ecossistemas de savana tropical e subtropical que caracterizam toda a África Sub-sahariana (Agee, 1993). As regiões da África Ocidental apresentam anualmente extensas áreas ardidas de savana e, apesar de alguns fogos se deverem a causas naturais (i.e., trovoadas), a grande maioria é de ignição humana (Laris, 2002; Eriksen, 2007). Podem ser causados por agricultores, por pastores ou por outro qualquer grupo ou actor, mas sempre em circunstâncias muito particulares e com um objectivo definido (Wardell et al., 2004).

Apesar do fogo ser, de facto, um fenómeno de perturbação natural na gestão dos ecossistemas, é importante referir que as queimadas descontroladas em África são, em média, responsáveis pela queima de 30 a 50% da vegetação ardida anualmente no mundo, com consideráveis impactes nas emissões de gases com efeito estufa (e.g., CO₂, CO, CH₄, NO) (Roberts et al., 2009), originando uma degradação dos ecossistemas, com uma conversão generalizada do coberto em savana secundária (Wardell et al., 2004). Nestes ecossistemas de savana, o factor antropogénico é aquele que principalmente determina a ocorrência do fogo, nomeadamente com os sistemas de uso do solo - agricultura itinerante, queimadas arbustivas descontroladas (*bushfire*) e pastoreio extensivo - praticados em muitos países da África Ocidental. Apesar de ser uma ferramenta de trabalho para agricultores e pastores em muitos destes países com maior registo de uso do fogo, as queimadas descontroladas são também vistas pelos decisores políticos como forma de protesto rural, ameaça aos recursos naturais, causa de desflorestação e de degradação do solo. Nestes casos, os governos de alguns países têm aplicado inclusivamente medidas, através de legislação, com imposição de sanções, para

limitar ou controlar estes fogos (Kull, 2002; Wardell et al., 2004; Laris e Wardell, 2006). Estas políticas, como tentativa de reeducar os hábitos de uso do fogo e os sistemas de produção das diferentes etnias, têm sido infrutíferas, e apenas geram uma maior tensão entre ambas as partes (Kull, 2002). Mais de 139 milhões de pessoas vivem em situação de pobreza extrema, na África Ocidental e, nestes casos, a própria sobrevivência destas populações determina a depleção e degradação dos recursos naturais (Nielsen, 2000; Rudel, 2005). A erradicação da pobreza e da fome encabeça a lista dos objectivos de desenvolvimento do milénio (ODM) das Nações Unidas (ONU), e não é razoável esperar que uma população nestas condições considere os princípios de desenvolvimento sustentável dos recursos naturais na mesma ordem de prioridade de quem vive no mundo industrializado, com acesso a todos os bens de necessidade básica. A esta limitação junta-se ainda o facto da prática da queimada regular estar profundamente enraizada na cultura destes povos, e ser fundamental enquanto componente dos seus sistemas de produção (Kull, 2002). Já Cabral (1954), nos seus muitos estudos sobre a Guiné-Bissau, caracterizava a queimada como elemento essencial no desenvolvimento da agricultura guineense, na qual prevalece o carácter itinerante, aliado à conquista de terra cultivável com recurso à queimada. O uso do fogo é igualmente indispensável em sistemas de produção em savana, nomeadamente para a caça, para promover o rebentamento de vegetação para o gado e como medida de prevenção dos fogos mais intensos do final da época seca (Kull, 2002; Laris e Wardell, 2006).

Actualmente, uma nova oportunidade de negócio surge para estes países e para estes grupos. A consciencialização da dimensão que a desflorestação tem na emissão de gases com efeito de estufa levou à criação de mecanismos internacionais que promovem a não desflorestação e uma gestão lucrativa, mas sustentável, das florestas (Mecanismos de Desenvolvimento Limpo, MDL). A implementação deste novo mercado permite que a redução das emissões de gases com efeito de estufa passe a ter valor e possa ser transaccionado, como créditos de carbono, com os países industrializados que não conseguem cumprir as metas estabelecidas pós Protocolo de Quioto. Os países industrializados, por sua vez, como compensação pelas quotas de emissão adquiridas, financiam projectos nos países em desenvolvimento que tenham como objectivo uma gestão sustentável dos recursos. Assim, ao mesmo tempo que é garantida a não emissão de gases com efeito estufa, promove-se o bem-estar da população, numa perspectiva verdadeiramente sustentável, nas três componentes da palavra – económica, ecológica e social. É esta a ideia do REDD (*Reduced Emissions from Deforestation and Degradation*) (Global Canopy Foundation, 2008): retorno financeiro por gestão sustentável. Contudo, a maior parte dos países africanos não está ainda preparada para beneficiar desta oportunidade de negócio (Roberts et al., 2009), uma vez que, para isso, uma análise credível das taxas de desflorestação que comprovem a redução da mesma é

imprescindível, sendo necessário um inventário com reporte e monitorização acreditada do uso e coberto do solo.

A Guiné-Bissau (GB) encontra-se no grupo dos dez países mais pobres do mundo, com aproximadamente 82% da população a depender directamente da exploração dos recursos naturais do país como forma directa de subsistência (Central Intelligence Agency, CIA, 2009). Tendo ratificado o Protocolo de Quioto em 2005, está portanto qualificada para participar nos MDL. No âmbito dessa integração, o país precisa de construir um cenário base que garanta uma monitorização e um reporte acreditado internacionalmente do coberto do solo e seu uso, da desflorestação e degradação dos recursos naturais. Um passo nesse sentido foi tomado através do projecto «CARBOVEG-GB - Quantificação do Carbono Armazenado e da Capacidade de Sumidouro da Vegetação Florestal da Guiné-Bissau» (Vasconcelos, 2008).

É neste contexto, de análise e construção de um cenário de base para o país, que este trabalho foi desenvolvido. O fogo é um dos principais factores de degradação da floresta (Ganz, 2009) e em países da África Ocidental, nomeadamente a GB, serve como importante instrumento de desflorestação (Cabral, 1954). A cartografia de áreas ardidas permite, através da análise espacial dos mapas resultantes, estudar as várias tendências geográficas e temporais do uso do fogo, e compreender as causas da sua incidência, nomeadamente pela interpretação e associação a factores antropogénicos.

A detecção remota por satélite é, de facto, a única forma verdadeiramente exequível para a detecção e monitorização de ocorrência de fogo em extensas áreas (Roy et al., 2005b). Permite monitorizar a sustentabilidade dos ecossistemas de forma fiável, garantindo consistência de observação através de uma amostragem contínua e espacialmente explícita do território. Com recurso à detecção remota é possível compreender a sazonalidade da sua ocorrência e identificar claramente os fogos periódicos tão característicos em savanas desta região da África Ocidental: fogos descontrolados em savana (*bush fires*) no início da estação seca, e fogos do final da época seca, mais destinados à agricultura e pastagem (Mbow et al., 2003). Laris e Wardell (2006), num estudo no Mali, comparam o impacte dos dois tipos de perturbação pelo fogo (geralmente de origem antropogénica), e concluem que, num horizonte temporal mais longo, a ocorrência de fogos no final da época seca conduz a uma razão vegetação arbórea/herbácea inferior à resultante de queimadas no início da época seca. Também Roy et al. (2005a) e Eva e Lambin (1998) referem que os fogos de final da época seca são mais intensos e destrutivos devido à savana se encontrar em fase senescente, as temperaturas serem mais altas, e ao vento mais intenso, o que dificulta o controlo do fogo. O período óptimo para a realização de queimadas com menor impacte na emissão de gases com efeito de estufa é, portanto, o início da época seca. Contudo,

este período, correspondente à presença de alguma humidade nas folhas - que permite que apenas parte da biomassa seja consumida no processo -, é relativamente curto (Mbow et al., 2003). Em muitos casos, o recurso a queimadas serve como único método de fertilização da terra e é efectuado no final da época seca, antes do início das chuvas, para que não haja dispersão das cinzas (Eriksen, 2007). No entanto, a obtenção de benefícios materiais por parte das populações locais poderá promover uma gestão da sazonalidade do uso do fogo neste sentido de redução das emissões atmosféricas.

Estudos sobre o regime do fogo foram feitos para outros países de África Ocidental, recorrendo a análise de imagens de satélite, nomeadamente para o Senegal, país fronteiriço (Mbow et al., 2000; Nielsen, 2000; Mbow et al., 2003) mas, geralmente, pouca interligação é feita com a importância socioeconómica. Há, assim, e nomeadamente na Guiné-Bissau, uma lacuna na análise sobre motivações dos actores locais por detrás dos seus regimes de queima em distintas situações socioeconómicas e políticas.

O objectivo geral deste trabalho foi a caracterização do regime do fogo na GB com base em dados de detecção remota e a sua interpretação, tendo em conta os factores determinantes do regime do fogo, principalmente os antropogénicos. Um reporte acreditado da ocorrência do fogo que a detecção remota possibilita - com posterior interpretação do seu uso, é uma grande mais-valia para a Guiné-Bissau, no seu intuito de se candidatar a projectos REDD neste âmbito de ocorrência/uso do fogo. Para o efeito, foram testados produtos de fogos activos e área ardida do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), no período 2001-2008, cuja análise permitiu determinar alguns parâmetros do regime do fogo a uma escala nacional. Posteriormente, cartografaram-se as áreas ardidas numa região seleccionada da GB, com base em imagens do satélite Landsat, de forma a avaliar algumas componentes do regime do fogo numa perspectiva intra (várias fases da época seca) e inter-anual (1986, 2002, 2007).

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A República da Guiné-Bissau, com uma área aproximada de 36 125 km², fica situada na Costa Ocidental de África – entre 10°59' e 12°20' Norte e 13°40' e 16°43' Oeste -, limitada a Norte pela República do Senegal, a Leste e Sul pela República da Guiné e a Oeste pelo Oceano Atlântico (Figura 1). O país é constituído por uma parte continental e uma parte insular, que engloba o Arquipélago dos Bijagós, e é composto por cerca de 90 ilhas e ilhéus, dos quais somente 17 são habitados. O país está dividido administrativamente por oito regiões - Bafatá, Biombo, Bolama, Cacheu, Gabú, Oio, Quínara e Tombali -, e um sector Autónomo, a capital Bissau (Figura 1). As regiões estão divididas num total de 36 sectores que, por sua vez, são subdivididas em secções, compostas por tabancas (aldeias). Um esboço da divisão administrativa do país, regiões e sectores, é também representado na Figura 2.



Figura 1. Mapa administrativo da Guiné-Bissau. Representação dos países vizinhos (República do Senegal e República da Guiné), fronteira internacional, regiões, capital do país (Bissau), capitais das regiões, principais cidades, estradas, caminho-de-ferro e aeroportos (Fonte: Secção Cartográfica do Departamento de Informação Pública das Nações Unidas).

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

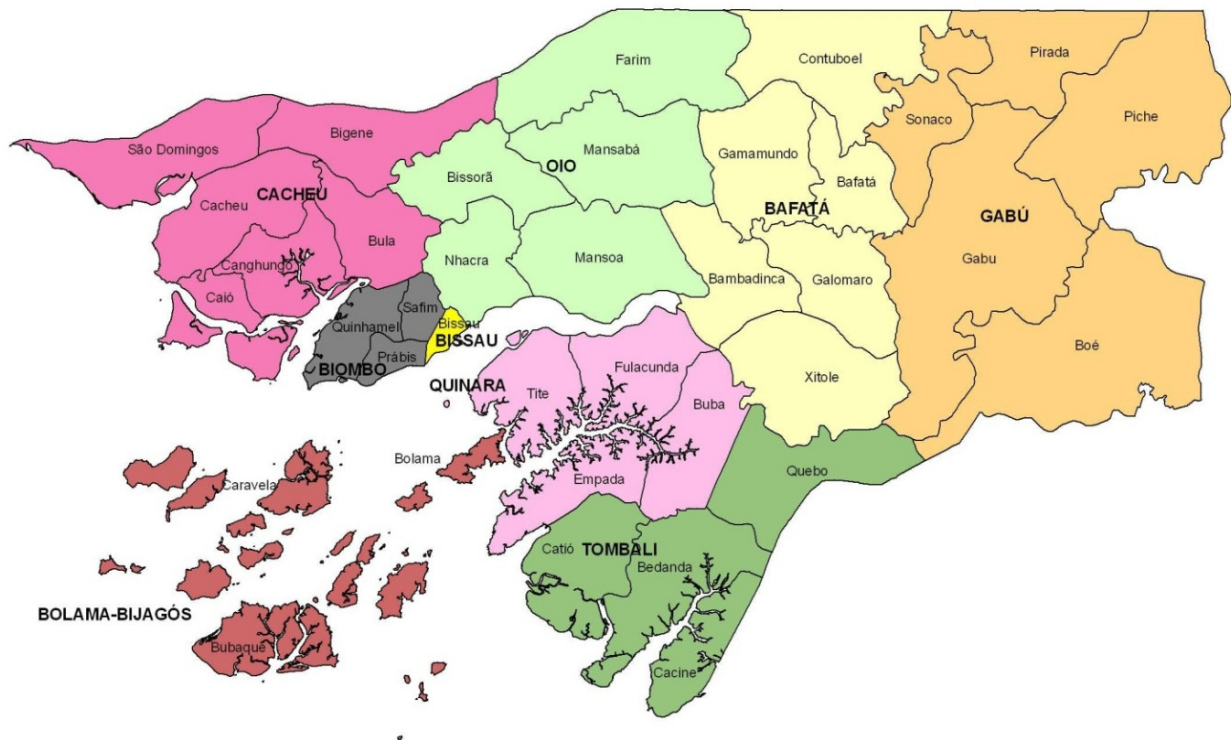


Figura 2. Limites administrativos das regiões e sectores da Guiné-Bissau (Fonte: Global Administrative Areas, GADM, 2010).

É essencial, nesta caracterização da área de estudo, descrever um conjunto de factores que, através das suas características específicas, influenciam a ocorrência e distribuição dos fogos, nomeadamente, a topografia e coberto vegetal, factores climáticos, e ainda factores antropogénicos, como demografia e distribuição étnica.

2.1. ZONAS FITOGEOGRÁFICAS DA GUINÉ-BISSAU

São discriminadas, com base em factores edafo-climáticos, três zonas fitogeográficas na Guiné-Bissau (adaptadas de Catarino (2004) e Ministério dos Recursos Naturais e Energia da GB, MRNEGB, (2009)): zona Sul, que abrange as regiões administrativas de Tombali, e Quínara; zona Noroeste, que inclui Bissau, Biombo, Cacheu, parte da região administrativa de Oio e Bolama; e finalmente a zona Leste, que engloba Bafatá, Gabú e os sectores de Farim e Mansabá da região Oio (Figura 3). Note-se, contudo, que esta variação no país é contínua e que os limites propostos devem ser assumidos apenas como indicativos.

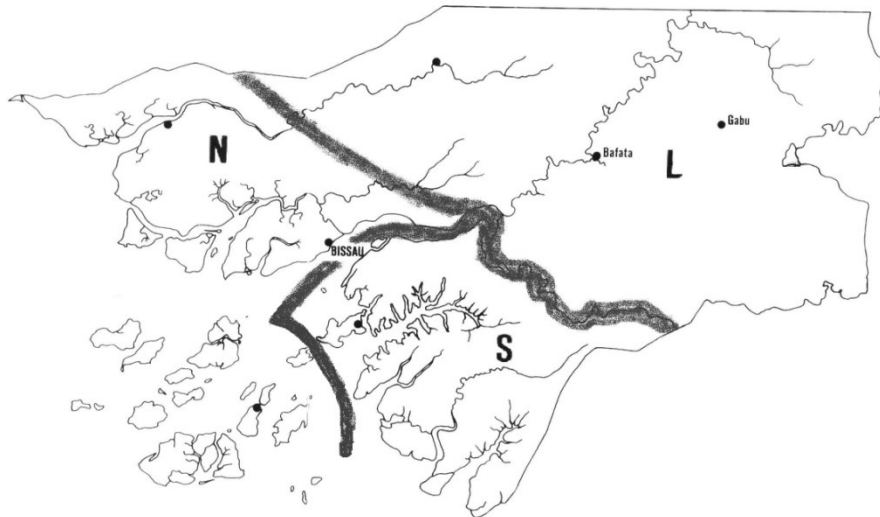


Figura 3. Esboço das zonas fitogeográficas da Guiné-Bissau; Zona Sul (S), Zona Noroeste (N) e Zona Leste (L) (Fonte: Adaptado de Catarino, 2004).

2.1.1.Clima

Geograficamente, a Guiné-Bissau situa-se na zona intertropical norte, uma zona de transição climática, entre o clima tropical húmido do Golfo da Guiné e a zona seca sudanesa e saheliana (Catarino, 2004), com apenas duas estações anuais, uma estação das chuvas, entre Junho e Novembro, e uma estação seca, de Dezembro a Maio. O regime anual das chuvas está sob influência da Zona Intertropical de Convergência (ZITC) e da sua migração sazonal, devido principalmente à posição geográfica do país, entre o Equador e o Trópico de Câncer, sob acção dos ventos alísios marítimos e continentais do Atlântico Sul e do bloco continental sudanês-sariano (Teixeira, 1962). Quando a ZITC, na sua migração sazonal de Sul para Norte, atinge a região, inicia-se a estação das chuvas, num único período de precipitação máxima. Só quando a ZITC, em Outubro ou início de Novembro, se desloca para o Sul do país, seguida por um fluxo de ar quente e húmido, é que as chuvas cessam e se inicia a época seca (Teixeira 1962, Catarino 2004). Existe uma distinção climática no país entre o litoral e o interior devido à variação na pluviosidade e influência marítima ou continental que é sustentada pelas isolinhas de precipitação anual (Figura 4), tão importantes na delimitação das entidades fitogeográficas definidas por Catarino (2004). A precipitação anual apresenta uma marcada variação no país. Chove mais no litoral do que no interior, mais no sul do que no norte, e, a norte do rio Geba, a precipitação do litoral para o interior, decresce mais rapidamente que a sul deste mesmo rio (Catarino, 2004). A Zona Sul é a mais litoral e húmida da Guiné-Bissau. Manifesta uma marcante influência marítima, que atenua o rigor da estação seca, e uma precipitação média anual acima dos 2000 mm.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

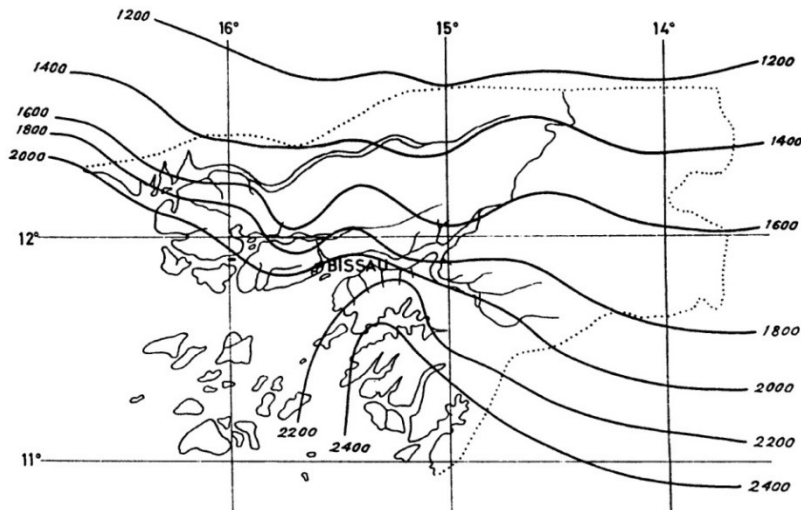


Figura 4. Carta de isolinhas de precipitação anual (Fonte: Costa e Resende, 1994)

2.1.2. Coberto Vegetal

O país caracteriza-se por diferentes tipos de formações vegetais, sendo composto, muito genericamente, por floresta no litoral e savana no interior (Teixeira, 1962; Cabral et al., 2008) (Figura 5). A savana arborizada é o tipo de coberto que mais extensivamente ocupa o território, predominando nos sectores de Gabú, Bafatá, Farim, São Domingos e Fulacunda. As savanas herbáceas são áreas utilizadas sazonalmente no cultivo de arroz em “bolanhas doces”¹ (Teixeira, 1962), no pastoreio do gado e na caça da fauna bravia (MRNEGB, 2009). A floresta ocupa a parte mais costeira, avançando ao longo dos rios para o interior. Nos últimos anos observou-se uma grande expansão das áreas destinadas à plantação de caju ao longo de toda a área costeira, sobretudo nas zonas de savana em Quínara, Cacheu e Oio (MRNEGB, 2009).

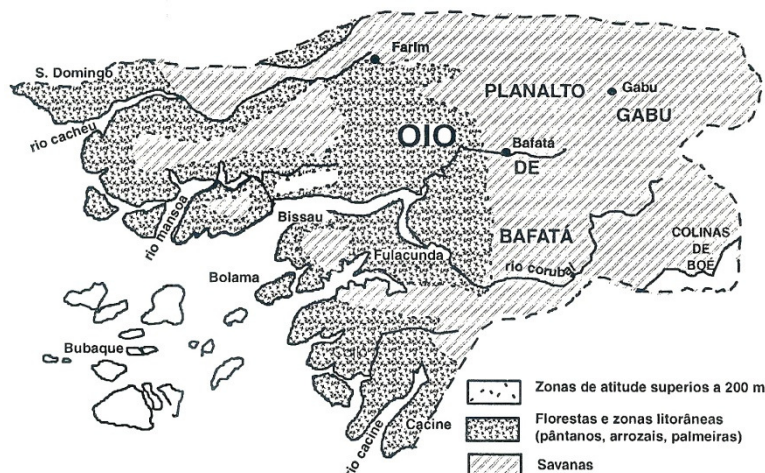


Figura 5. Mapa de vegetação da Guiné-Bissau (Fonte: PAIGC, 1974, em Costa e Resende, 1994)

¹ “bolanhas” de água doce ou de água salgada identificam regiões de cultura do arroz alagado em que se deu a substituição total ou parcial da vegetação primitiva (Teixeira, 1962).

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A zona fitogeográfica Sul é aquela que apresenta melhores condições para o desenvolvimento da vegetação, sendo constituída principalmente por floresta aberta e savana arborizada, mas com áreas de floresta densa, nomeadamente na Mata do Cantanhez (sector de Bedanda, região de Tombali). A zona Norte é constituída por floresta aberta, palmares mistos e savana arborizada, e ainda mangal e lalas². A zona insular é dominada por floresta aberta, savana arborizada, palmar³ misto e mangal. A zona Leste, por sua vez, é dominada por floresta aberta e savana arborizada cuja densidade e porte se reduz consideravelmente no sentido sudeste, em direcção à região do Boé (Catarino, 2004).

Neste ponto, é importante referir a indubitável importância que a castanha de caju tem vindo a ganhar nos sistemas de produção da população e na economia do país. O sector orizícola guineense, devido ao abandono das bolanhas, ao êxodo rural, diminuição da precipitação nos últimos anos (salinização das bolanhas), é altamente precário. O cultivo do cajueiro foi fomentado na Guiné-Bissau através da instalação de vários cajueirais em 1963 (Sardinha, 1991, em Temudo, 2009). Em meados da década de 1980, ou inícios de 1990, com a política de incentivo à produção de castanha de caju, subsequente troca forçada por arroz, e a subida do preço da castanha no mercado internacional, tem-se observado uma progressiva reconversão do coberto por todo o país (Temudo, 2009). A etnia Balanta na região de Tombali respondeu de imediato com a instalação de pomares nas zonas de savana herbácea e arbustiva (Temudo, 2009), mas a multiplicação dos cajueirais tem-se vindo a registar mais progressivamente em outras regiões, com particular expressão nos últimos anos nas regiões de Biombo, Bissau e Bolama e ao longo de toda a zona costeira, nomeadamente em Quínara, Cacheu e Oio (MRNEGB, 2009).

A conversão do sistema de produção de culturas alimentares de sequeiro em pomares de caju é um processo crescente de extensificação da agricultura que se traduz numa redução da área de floresta sujeita anualmente a corte e queima e a queimadas descontroladas (M. Temudo, com. pess., 2010). Devido à importância económica do produto no processo de desenvolvimento do país, o cajueiro tornou-se a principal fruteira e a cultura mais produtiva, contribuindo para o aumento do peso do sector agrícola no PIB do país, e sendo semeada por todo o país e com um aumento contínuo na sua produção (Costa, 2002).

² O termo "lala" é a designação vulgar das savanas climáces (Teixeira, 1962). Temudo (2009) faz a distinção entre "lala de palha" e "lala de mato" como savana herbácea e arbóreo-arbustiva, respectivamente.

³ Florestas dominadas por palmeiras, sobretudo da espécie *Elaeis guineensis* (Teixeira, 1962).

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A diferenciação espectral dos cajueirais por detecção remota apresenta-se difícil, uma vez que os seus pomares dão origem a uma assinatura espectral nas imagens Landsat, muito semelhante à das classes de floresta (Cassamá, 2006). Contudo, e apesar da falta de dados do PIB que permita uma análise mais pormenorizada com determinação e avaliação da importância do cajueiro na frágil economia guineense, a crescente produção evidenciada nos últimos anos (Figura 6) serve como bom indicador dessa conversão do coberto.

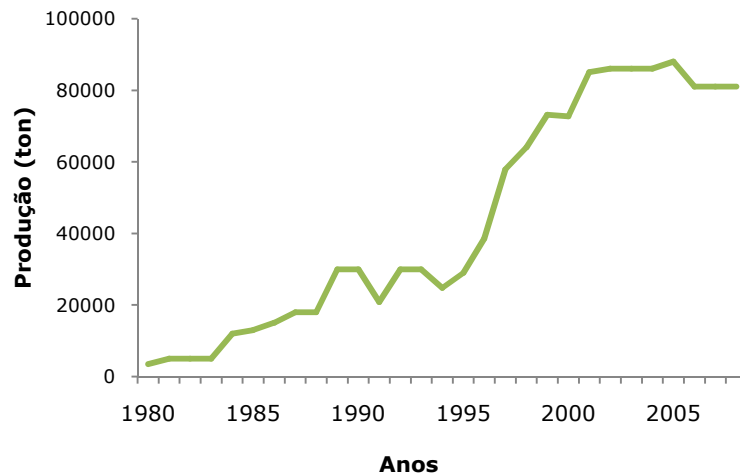


Figura 6. Produção (toneladas) de castanha de caju entre 1980 e 2008, obtida por dados oficiais e estimativa da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação (FAO) (Fonte: FAO, 2010).

2.1.3. Topografia e solos

O país tem um relevo muito pouco acentuado, com altitude predominantemente abaixo dos 40 m (Teixeira, 1962). A zona interior sudeste é um pouco mais acidentada e apenas as colinas do Boé atingem cotas de altitude superiores a 200 m (Teixeira, 1962; Costa e Resende, 1994). Com tão baixas cotas de altitude e elevadas amplitudes das marés, as zonas costeiras e as margens dos rios, ou rias, são facilmente inundáveis, particularmente durante a época das chuvas (Catarino, 2004).

A morfologia aplanada do relevo promoveu, ao longo da evolução geodinâmica do país, a presença generalizada de solos vermelhos e lateritos (Catarino, 2004) mas também estão presentes, embora em menor proporção, solos hidromórficos e solos arenosos. Os solos hidromórficos da Guiné-Bissau - Fluvissois e Gleissolos -, estão sob influência da maré e da precipitação e são utilizados para a cultura do arroz por alagamento (de "bolanha salgada" no caso dos fluvissois e de "bolanha doce" no caso dos gleissolos). Os solos vermelhos do planalto - Ferralissolos e Plintossolos -, ocupam a maior parte do país, - zonas fitogeográficas Sul e Norte (Figura 3) -, e estão cobertos principalmente por floresta aberta e savana, apresentando aptidão para culturas anuais e fruticultura. A prática de agricultura itinerante, recorrendo ao sistema de corte e queima, é muito usual

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

nestes solos para a instalação das referidas culturas (Teixeira, 1962). Afloramentos líticos característicos deste tipo de solos são dominantes na região do Boé, tornando-a numa zona muito árida e de fraco valor agrícola (Catarino, 2004). Finalmente, os Arenosolos são solos arenosos, essencialmente quartzosos, localizam-se sobretudo ao longo da costa (Cassamá, 2006) e, no geral, estão cobertos por palmares ou savanas (Teixeira, 1962).

2.2. CARACTERÍSTICAS DA POPULAÇÃO E DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Segundo os dados do Instituto Nacional de Estatística e Censos (INEC) da Guiné-Bissau, estimados a partir do censo de 1991, a população actual do país é de 1 389 497 habitantes (estimativa para 2007), com uma densidade populacional aproximada de 40 habitantes por km² (Quadro 1). As regiões de Bolama, Quínara e Gabu têm menor densidade populacional, sendo o sector de Boé, no extremo sudeste de Gabu, de longe o de menor densidade devido à grande extensão de solos impróprios para cultivo agrícola (Quintino, 1971).

Quadro 1. Densidade populacional estimada para 2007 (habitantes/km²), com base nos valores populacionais do censo de 1991 (INEC).

Região	Área (km ²)	População (estimativa 2007) (habitantes)	Densidade populacional (habitantes/km ²)
Bafatá	5 805,5	193 017	33
Biombo	814,5	64 797	80
Bissau	100,4	407 424	4 059
Bolama	1 862,4	28 211	15
Cacheu	4 834,4	169 162	35
Gabu	9 038,1	189 790	21
Oio	5 481,8	185 022	34
Quínara	3 012,5	54 516	18
Tombali	3 484,5	97 557	28
Guiné-Bissau	34 434,0	1 389 497	40

A Guiné-Bissau é constituída por uma enorme diversidade étnica, com línguas, religiões e culturas muito distintas, e é composta por quase três dezenas de etnias diferentes (Cabral, 1954; Quintino, 1971; Costa e Resende, 1994). As mais representativas em termos demográficos (MRNEGB, 2009) são a Balanta, a Fula, a Manjaco, a Mandinga, e a Papel. Dentro das etnias menos representativas, evidenciam-se a Mancanha, a Beafada e a Bijagó. O esquema representado na Figura 7 ilustra a diversidade de etnias no país e a sua representação demográfica.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para avaliar a importância que o factor antropogénico desempenha na caracterização do regime do fogo no país, torna-se necessário compreender a diversidade étnica e a cultura dos diferentes grupos, na medida em que estes se caracterizam por uma diferente atitude perante o fogo, e diferentes práticas de uso do solo e de conservação da natureza.

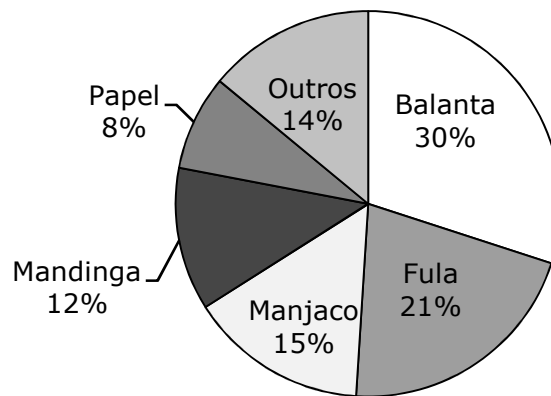


Figura 7. Representatividade das principais etnias da Guiné-Bissau.

Costa e Resende (1994) agrupam as diferentes etnias, numa base muito genérica, em grandes grupos - por religião, pela sua distribuição geográfica, língua, relações familiares, ou uso da terra. Esta forma de agrupar as diferentes etnias é corroborada pela descrição de outros autores, e.g., Teixeira (1962), Quintino (1971), Temudo (2009):

Os Balantas são animistas do litoral, ocupando tradicionalmente os sectores de Mansoa, Nhacra e Bissora da região de Oio, iniciaram uma migração para o sul, desde os anos 30, à procura de terrenos para instalação de campos de arroz (Teixeira, 1962). Tornaram-se, a partir de então, na etnia maioritária em Quínara (tradicionalmente da etnia Beafada) e Tombali (tradicionalmente da etnia Nalú). São especializados na cultura do arroz em bolanha salgada e localizam-se onde o possam cultivar. A sua migração para algumas regiões traduziu-se no corte da vegetação de mangal e a construção de um sofisticado sistema de diques e comportas, característico do sistema no qual são especializados (Temudo, 2009). Exploram também pequenas culturas de subsistência à volta das suas habitações, nomeadamente a castanha de caju, após a sua introdução nos últimos anos (MRNEGB, 2009).

Os Felupes ocupam sobretudo as duas margens do rio Cacheu. São um povo essencialmente produtor de arroz.

Os Manjacos são igualmente animistas, e distribuem-se entre a ria de Cacheu e a ria de Mansoa (Quintino, 1971). Produzem arroz em "bolanha" e em sequeiro e milho em agricultura de sequeiro (Teixeira, 1962), e exploram os palmares

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

associados com outras culturas, numa actividade extractivista que promovia, na época colonial, a exportação de coco, azeite de palma, cera, madeira e borracha.

Os Papéis são também animistas, produzem arroz em “bolanha” e em sequeiro, embora este último em menor escala, e por isso localizam-se nas faixas costeiras, mais afectadas pelas marés, da ilha de Bissau (Quintino, 1971). Formam também savanas-pomar⁴ (Teixeira, 1962).

Todos estes grupos acima descritos dedicam-se à criação de gado bovino para fins essencialmente cerimoniais (Teixeira, 1962).

Os Fulas e os Mandingas são ambos islamizados, mais nómadas, mais pastores e menos agricultores que os restantes grupos, e dedicam-se particularmente à produção bovina. Na actividade agrícola produzem principalmente milhos (milheto, sorgo e milho) e mandioca, mas também arroz de sequeiro e amendoim. As mulheres dedicam-se ao cultivo de arroz de “bolanha doce” nos gleissolos dos pequenos vales interiores. Os Fulas localizam-se nas áreas mais interiores do Leste do país e os Mandingas nas áreas mais interiorizadas da ria de Cacheu (região de Oio).

Dos principais grupos étnicos existentes na Guiné-Bissau, os Felupes, Manjacos, Balantas, Mandingas, Fulas e Nalús têm projecção geográfica transfronteiriça (Figura 8a), enquanto os Papeis, Beafadas e Bijagós, pelo contrário, não se dispersam além fronteiras administrativas (Figura 8b).

Teixeira (1962), no esboço de carta étnica, representou estes grupos fazendo referência à actividade agrícola praticada e atitude relativamente aos recursos naturais. Segundo este autor, os Balantas, Manjacos e Papéis possuem tradições agrícolas mais evoluídas, praticam cultura de arroz por conquista da terra ao mar, convertem a floresta em savana-pomar, mantendo-a e protegendo-a, e exploram os palmares. Estas etnias localizam-se a oeste do limite das marés, em zonas de mangal, de palmar e de floresta. No outro extremo, temos os Fulas e os Mandingas, de agricultura mais atrasada, geralmente itinerante, ligados a uma pastorícia arcaica, praticando queimadas voluntariamente descontroladas e destruidoras. Estas duas etnias ocupam as zonas de savana arbustiva de Bafatá e Gabú e os afloramentos de couraça do Boé. Temudo (com. pess., 2010) descreve os Fulas desta forma, com menor preocupação pelos recursos naturais e pela sua preservação. Não sendo autóctones da região onde caçam, e para não serem notados, ateam o fogo longe das povoações e à hora mais quente do dia, para uma rápida propagação.

⁴ “savana-pomar” corresponde a regiões de intensa actividade agrícola em que a vegetação é constituída por espécies espontâneas úteis (Teixeira, 1962)

a)



b)



Figura 8. Distribuição étnica na Guiné-Bissau: a) etnias transfronteiriças; b) etnias sem projecção transfronteiriça. (Fonte: Instituto Geográfico do Exército, IGE, 2001)

2.3. FACTORES ANTROPOGÉNICOS NA OCORRÊNCIA DO FOGO

A densidade populacional e o uso do solo, no seu conjunto com outros factores biofísicos, influenciam a frequência, o momento de ocorrência, a dimensão e a distribuição espacial das áreas afectadas pelo fogo (Roy et al., 2005a). No caso de países tão pobres - como a

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Guiné-Bissau -, em que a maior parte da população vive da agricultura praticada nas zonas rurais, a época de ocorrência do fogo é fortemente determinada pela população e pela sua prática de uso do solo (Eriksen, 2007). Neste caso, com uma população composta por uma malha étnica tão diversa, com distintos sistemas de produção e hábitos de uso de solo, essas variações na área afectada pelo fogo ainda serão mais evidentes, mesmo numa área tão pouco extensa como a do caso em estudo.

Le Page et al. (2010), num estudo sobre a sazonalidade da ocorrência do fogo à escala global, demonstraram que a influência antropogénica, em muitas zonas do globo, se sobrepõe aos restantes factores na definição desta sazonalidade, e que, nestes casos, os factores climáticos actuam apenas como restrição na definição do potencial início e fim da época seca. O estudo citado utilizou o software TIMESAT⁵, que permite obter séries temporais e compreender a sazonalidade de várias variáveis climáticas e de ocorrência de fogo num dado ponto, com uma resolução espacial de 1º. Foram seleccionadas quatro quadrículas sobre a Guiné-Bissau definidas como Noroeste (NO), Nordeste (NE), Sudoeste (SO) e Sudeste (SE) e representados na Figura 9. Os valores extraídos em cada uma destas células são ilustrados na Figura 10. A vermelho, o autor representa as contagens de fogos activos (produto *Climate Modeling Grid* do sensor MODIS) e a azul o *Chandler Burning Index* (CBI), índice de perigo de ocorrência de fogo calculado com base na humidade relativa e na temperatura, para um conjunto de cinco anos (de Julho de 2002 a Julho de 2007).

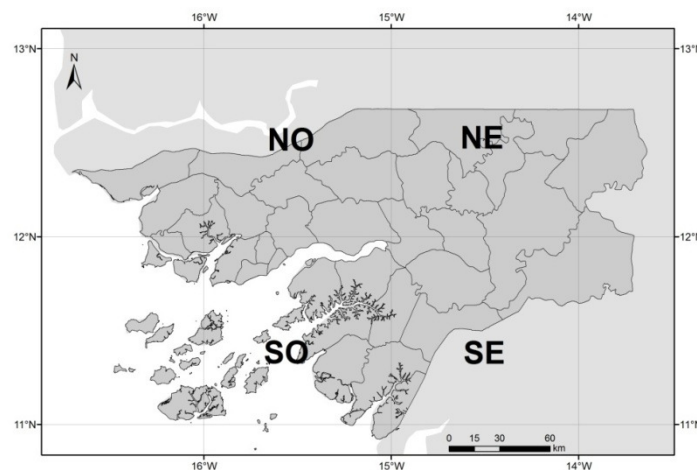


Figura 9. Grelha de 1ºx1º sobre a Guiné-Bissau. São assinaladas as quatro quadrículas sobre as quais se extraíram os dados: Noroeste (NO), Nordeste (NE), Sudoeste (SO) e Sudeste (SE).

Há um maior registo de fogos activos na zona sudeste do território (Figura 10d), que compreende os sectores de Buba e parte de Fulacunda na região Quínara; Cacine, Quebo e parte de Bedanda na região Tombali; Bambadinca, Galomaro e Xitole em Bafatá; e Boé e parte de Gabú na região de Gabú. Em oposição, a zona sudoeste do país (Figura 10c),

⁵ <http://www.nateko.lu.se/TIMESAT/timesat.asp>

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

que compreende toda a zona costeira (com exceção de Cacheu e São Domingos no norte), é aquela com menos registos de fogos activos. Não obstante esta tão grande diferença em termos de ocorrência de fogo, estas duas zonas do país são aquelas que apresentam um maior desvio entre a curva de contagens de fogos activos e a do CBI. Em ambos os casos, o pico de ocorrência do fogo situa-se deslocado para mais tarde na época seca determinada pelo CBI.

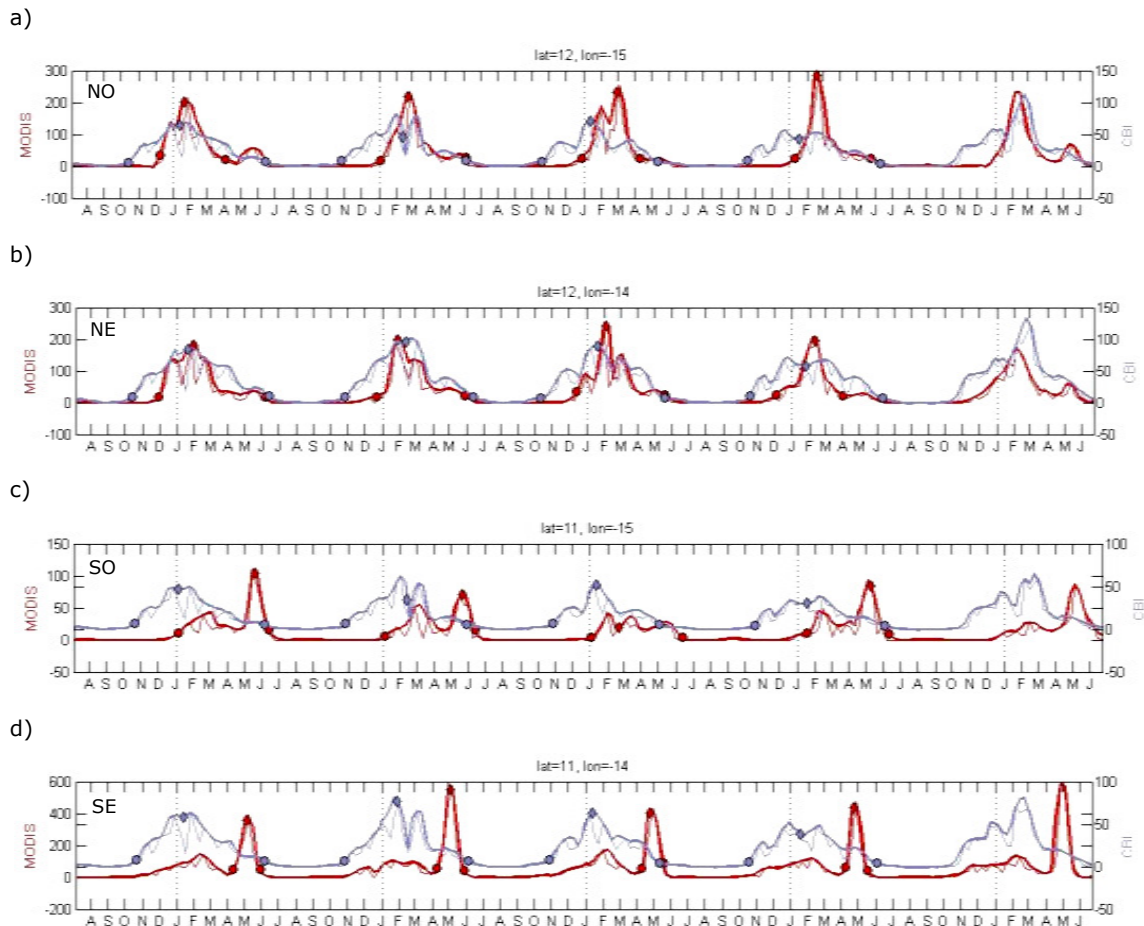


Figura 10. Séries temporais entre Julho de 2002 e Julho de 2007 com representação do número de fogos activos do produto MODIS (vermelho) e CBI (azul), e com resolução espacial de 1° ; as linhas mais claras representam períodos de oito dias e as mais escuras são as mesmas séries após aplicação do filtro Savitzky-Golay; a) NO, lat. 12°N e long. 15°W ; b) NE, lat. 12°N e long. 14°W ; c) SO, lat. 11°N e long. 15°W ; d) SE lat. 11°N e long. 14°W (Fonte: dados disponibilizados por Le Page, 2010).

As grandes queimadas e elevada densidade de fogos variam consoante a região em análise, estando associadas a um conjunto de vários factores que, por sua vez, variam entre as mesmas. A análise do tema de sistemas de produção e do uso do fogo associado às diferentes etnias vem em seguimento da descrição feita anteriormente das mesmas a

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

partir de dados bibliográficos, e às quais agora se acrescentam dados mais recentes, ainda não publicados, obtidos por M. Temudo (com. pess., 2010)⁶.

De entre os factores identificados por Temudo (com. pess., 2010) como determinantes de elevada densidade de fogos, destacam-se: a baixa densidade populacional (e.g., sector de Boé); a fraca importância das plantações de caju (e.g. região de Gabú); a dominância de savanas e florestas abertas (e.g., regiões de Gabu e Bafatá); o recurso à prática de queimada para caça nas florestas e nas savanas herbáceas (regiões de Gabu, Bafatá, Oio e Quínara); uso do fogo para promover a rebentação de pasto para o gado, facilitar a sua circulação e visibilidade (devido aos roubos), e diminuir o número de cobras.

Segundo a autora, as práticas associadas ao uso do fogo podem ser descritas consoante o seu objectivo, em queimadas agrícolas ou não agrícolas; por tipo de coberto, consoante ocorrem em florestas, savanas arborizadas ou savanas herbáceas e de acordo se são controladas ou descontroladas.

As populações rurais do país praticam queimadas com fins agrícolas e não agrícolas, em que o controle sobre a propagação descontrolada do fogo varia de acordo com a etnia que o pratica, o tipo de vegetação e o objectivo em causa, mas também, mais recentemente, com a existência ou não de pomares na proximidade da área a queimar.

No caso dos fogos agrícolas, a frequência do fogo é mais elevadas nas zonas onde o sistema de produção de sequeiro é dominante (regiões de Gabu e Bafatá, sectores de Farim e Mansabá na região de Oio, e sector de Quebo na região de Tombali). Estas queimadas realizam-se maioritariamente em Maio, no final da época seca, imediatamente antes das primeiras chuvas, e estão associadas à agricultura de sequeiro de corte e queima (dita itinerante), praticada nas florestas e savanas arborizadas. Estas queimadas são descontroladas quando se encontram associadas a outros objectivos, mas muitas vezes as savanas herbáceas são queimadas em mosaico, ao longo do tempo, para evitar que o fogo alastre. Nas savanas arborizadas e florestas, as queimadas agrícolas, associadas ao cultivo em sequeiro, podem ser controladas ou descontroladas, de acordo com a etnia que as pratica e dão origem a padrões regionais. As queimadas descontroladas nos campos agrícolas de sequeiro com o objectivo simultâneo de caça

⁶ A Doutora Marina Temudo é colaboradora do projecto «CARBOVEG-GB - Quantificação do carbono armazenado e da capacidade de sumidouro da vegetação florestal da Guiné-Bissau», e o seu estudo, no âmbito da componente etno-agronómica do projecto, permitiu a obtenção de dados de terreno que possibilitam uma análise do uso do fogo pelos diversos sistemas de produção inerentes à matriz étnica do país. A metodologia adoptada para obtenção destes dados consistiu num misto de técnicas etnográficas com longas permanências em aldeias de Tombali desde 1993 e de uma avaliação rural, com observação directa e participante - entrevistas individuais a informadores-chave e de grupo -, aplicadas a grupos de aldeias de cada sector administrativo do país, num total de 178 aldeias, durante cinco meses em 2008 e 2009. Não foi possível seleccionar uma amostra representativa de aldeias em cada sector para a obtenção destes dados.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

eram tradicionalmente praticadas pelas etnias Fula, Mandinga, Beafada e Balanta (regiões de Gabu, Bafatá, Quínara e Oio). A sua frequência tem vindo a diminuir drasticamente, segundo os agricultores, devido à crescente instalação de pomares de caju. Pelo contrário, entre os Nalús (região de Tombali) e os Felupes (sector de S. Domingos da região de Cacheu), as queimadas são sempre controladas.

As queimadas não agrícolas ocorrem durante toda a época seca de forma descontrolada e com objectivos diversos. Em floresta e savana arborizada têm como finalidade principal a caça e são praticadas nas regiões de Gabu e Bafatá, e nos sectores Quebo (Tombali), Farim e Mansoa (Oio) e Bigene (Cacheu). Quando são praticadas por caçadores profissionais realizam-se desde o fim das chuvas até ao seu início. Quando, pelo contrário, se destinam a facilitar a circulação do gado, melhorar a visibilidade, diminuir o número de cobras e também, em alguns casos, induzir um rebentamento do pasto, vão sendo feitas ao longo da estação seca, à medida que a vegetação seca, e dão origem a um padrão de queimadas em mosaico. A colheita de mel selvagem pode também dar origem a queimadas descontroladas a partir de Abril. Nos sectores de Mansoa, Bissora e Farim, foram também referidas queimadas descontroladas em Março (podendo no entanto começar em Fevereiro e prolongar-se até Maio quando associadas a outros objectivos) com o objectivo de provocar o rebentamento do manganace e do mandiple⁷.

Em todo o país, ocorrem também queimadas descontroladas para caça em savana herbácea no final da época seca (Abril-Maio). Muitas vezes estão associadas a outros objectivos, como induzir o rebentamento de palha para cobrir as casas e de pasto para o gado bovino. No Leste do país, estas savanas podem ainda ser queimadas no início da época seca (Dezembro e Fevereiro, à medida que a vegetação vai secando) para provocar um segundo rebentamento do pasto, aproveitando a humidade residual do solo e a humidade do ar.

⁷ Manganace (*Icacina alisiformis*) e mandiple (*Spondias mombin*) são duas espécies espontâneas cujos frutos são comestíveis.

3. DADOS

3.1. PRODUTOS MODIS

O sensor MODIS da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) constitui um instrumento chave na concepção e desenvolvimento de produtos de observação global e sistemática da superfície terrestre (Justice et al., 2002). Encontra-se a bordo do satélite *Earth Observing System* (EOS) Terra e também, após 2002, do satélite EOS Aqua, recolhendo informação em períodos diferentes do dia. Este sensor oferece uma cobertura global quase diária (Justice et al., 2002), obtendo quatro observações diárias de um mesmo local em períodos diferentes do dia, o que lhe confere aptidão e pertinência para estudos de dinâmicas ecológicas à escala global. Por possuir atributos específicos, de resolução espacial (variando entre 250 m e 1000 m, dependendo da banda) e radiométrica, adequados à detecção, registo e monitorização do fogo, foram desenvolvidos produtos MODIS direccionados para a ocorrência de fogo. Neles se incluem um produto de fogos activos com resolução espacial de 1 km (Justice et al., 2006) e um produto de área ardida que cartografa a extensão das áreas afectadas pelo fogo, com informação aproximada do dia de ocorrência, e uma resolução espacial de 500 metros (Roy et al., 2005b). A grelha sinusoidal MODIS é dividida por *tiles*, com coordenadas horizontal (h) e vertical (v), e com uma área aproximada de 1200 km por 1200 km ($10^\circ \times 10^\circ$ no equador) (Roy et al., 2008) (Figura 11).

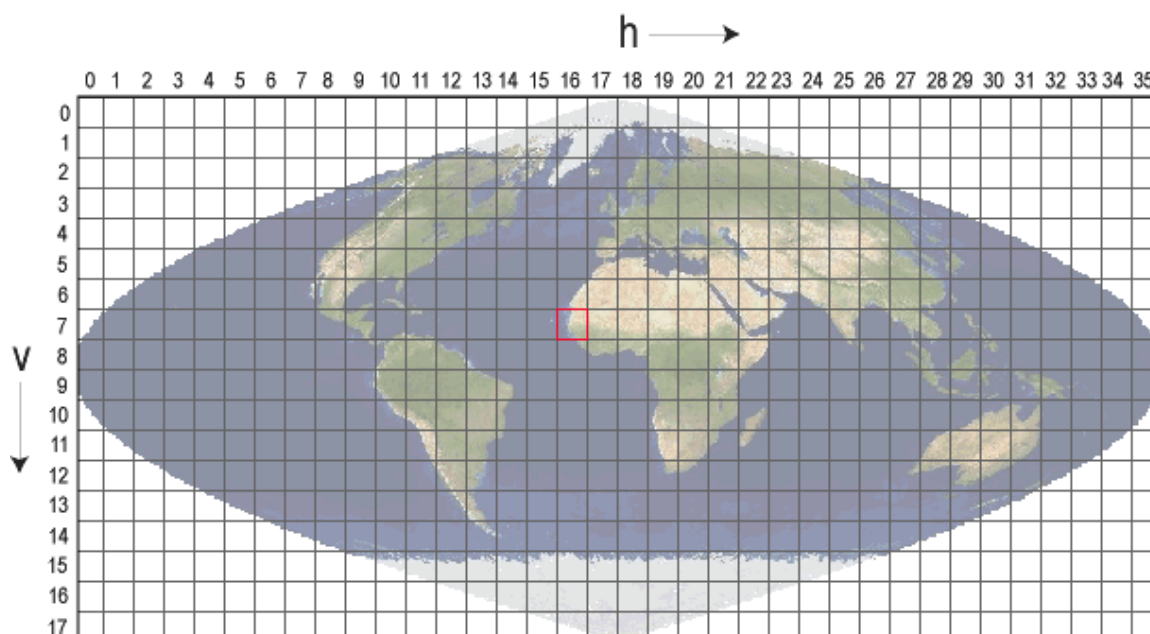


Figura 11. Grelha sinusoidal MODIS com ênfase na janela H-16 V-7 que abrange a Guiné-Bissau (Fonte: https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/products/modis_overview).

Para a análise da dinâmica das queimadas na Guiné-Bissau utilizou-se a última versão do produto de área ardida do sensor MODIS (produto MCD45A1; Roy et al., 2002; Roy et al., 2005b) e o produto fogos activos do mesmo sensor, ainda em fase de processamento. Foi feita uma análise da área ardida à escala dos sectores da Guiné-Bissau entre os anos 2001 e 2008. Não foi possível incluir o ano de 2007 nesta análise por haver um problema de falta de dados do produto para o ano em questão. Neste estudo foi ainda utilizado o produto de coberto do solo do MODIS, MCD12Q1 (Friedl et al., 2002), que permitirá quantificar a área ardida por tipo de coberto.

Todos os dados MODIS utilizados são disponibilizados gratuitamente, com projecção Sinusoidal, o que permite uma utilização generalizada pela comunidade científica. Foi necessário convertê-los para o sistema de projecção UTM, zona 28 Norte, com *datum* de referência WGS84.

3.1.1. Área Ardida

O produto de área ardida do sensor MODIS (produto MCD45A1) é obtido através do processamento dos dados combinados MODIS-Terra e MODIS-Aqua e está disponível, numa base mensal, numa resolução espacial de 500 m. O seu algoritmo utiliza uma abordagem baseada num modelo de detecção de alteração da reflectância bidireccional para cartografar a área afectada, com uma resolução de 500 metros, e detecta o dia aproximado de ocorrência do fogo através de ocorrência de alterações bruscas na reflectância (Roy et al., 2002; Roy et al., 2005b).

A versão mais recente do produto de área ardida do MODIS (*Collection 5*) é, assim como todo um conjunto de informação de apoio, disponibilizada gratuitamente pela Universidade de Maryland em <http://modis-fire.umd.edu/MCD45A1.asp>.

3.1.2. Coberto do Solo (*Land Cover*)

O produto *Land Cover Yearly L3 Global 500 m* do MODIS (produto MCD12Q1), inclui vários esquemas de classificação que descrevem as propriedades do coberto do solo resultantes do processamento de dados observados pelo sensor MODIS-Terra e MODIS-Aqua (Friedl et al., 2010). O primeiro esquema (*Type 1*) identifica 17 classes diferentes de ocupação do solo com base na legenda do *International Geosphere-Biosphere Program* (IGBP) que, para este estudo, foram simplificadas em oito classes (Quadro 2). Com base nestas classes, determinou-se quais os principais tipos de coberto afectados pelo fogo. O seu algoritmo segue uma metodologia de classificação supervisionada que combina a informação multiespectral e multitemporal fornecida pelo sensor com modelos de alteração de coberto de forma a determinar, não só o tipo de alteração no coberto,

como também a sua intensidade (Strahler et al., 1999; Friedl et al. 2002). Estes dados são utilizados numa análise aos principais tipos de coberto afectados pelo fogo.

Quadro 2. Correspondência entre legenda do produto de coberto do solo (MCD12Q1) do sensor MODIS e a legenda adaptada neste estudo

Classes MODIS (produto MCD12Q1)	Classes neste estudo
<i>Closed shrublands</i>	Mato
<i>Open shrublands</i>	
<i>Croplands</i>	Agricultura
<i>Cropland/Natural vegetation mosaic</i>	
<i>Deciduous Broad-leaf forest</i>	Floresta
<i>Deciduous Needle-leaf forest</i>	
<i>Evergreen Broad-leaf forest</i>	
<i>Evergreen Needle-leaf forest</i>	
<i>Mixed forest</i>	Pastagem
<i>Grasslands</i>	
<i>Permanent wetlands</i>	
<i>Savannas</i>	
<i>Woody savannas</i>	Savana arborizada
<i>Permanent snow and ice</i>	
<i>Water</i>	Outros
<i>Urban and built-up</i>	
<i>Barren or sparsely vegetated</i>	

Este produto é distribuído gratuitamente pelo *Land Processes Distributed Active Archive Center* (LP DAAC), do *United States Geological Survey* (USGS) *Earth Resources Observation and Science* (EROS) Center (<http://lpdaac.usgs.gov>).

3.1.3. Fogos Activos

Neste trabalho foi utilizada a ultima versão do produto de fogos activos do sensor MODIS que, por ainda se encontrar em fase de processamento (*Collection 5*), foi gentilmente disponibilizado pelo Departamento de Geografia da Universidade de Maryland, EUA. Este é um produto diário, à escala global, e com uma resolução espacial de 1 km, que detecta a ocorrência de fogos activos através da forte emissão de radiação no comprimento de onda correspondente ao infravermelho médio, em torno dos 4 μm (Giglio et al., 2003; Giglio, 2007).

3.2. IMAGENS DE SATÉLITE LANDSAT

3.2.1. Breve descrição do programa Landsat

O programa Landsat é o sistema de observação da superfície terrestre mais antigo nos Estados Unidos, recolhendo dados desde 1972 (Jensen, 2005). Foi criado “num súbito e

emocionante período de investigação científica nos Estados Unidos, associado ao domínio do átomo e à ida do Homem à lua⁸, e é, sem dúvida, o projecto mais produtivo de detecção remota espacial desenvolvido até ao momento (Chuvieco, 2002). Em 1965, William Pecora, director da USGS, propôs um programa de detecção remota que recolhesse dados sobre os recursos naturais do nosso planeta. Originalmente controlado pela NASA, o programa foi transferido para a *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Em 1985 o programa foi privatizado mas a sua gestão e a totalidade do arquivo foi devolvida à USGS em 2001. Em 1972 foi lançado o primeiro satélite, ERTS-1, posteriormente designado por Landsat 1, e, até à data, foram lançados neste programa outros seis satélites, cinco com sucesso, uma vez que o satélite Landsat 6 nunca conseguiu atingir a sua órbita (Jensen, 2005).

3.2.2. Landsat 5 TM e Landsat 7 ETM+

Neste trabalho foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 5, lançado em 1984, e Landsat 7, em órbita desde 1999. Estes dois satélites apresentam características orbitais de funcionamento muito semelhantes. Ambos estão colocados a 705 km de altitude e têm um período de revisitação do mesmo local de 16 dias. A sua órbita, quase polar e heliossíncrona, faz com que os satélites cruzem o equador sempre à mesma hora local (10:00 a.m.), (Jensen, 2005). O satélite Landsat 5 transporta dois sensores a bordo, o *Multispectral Scanner System* (MSS) e o *Thematic Mapper* (TM), enquanto o satélite Landsat 7 transporta apenas um sensor, o *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+). O TM é um sensor multispectral melhorado, destinado à obtenção de imagens de alta resolução e é espacial, espectral e radiometricamente superior ao MSS. Todos os seus canais são registados ao longo de 256 níveis de número digital (ND) - 8 *bit* -, e as suas características espectrais e espaciais são apresentadas no Quadro 3. O ETM+ inclui características adicionais às referidas para o sensor TM: uma banda pancromática (banda 8) com resolução espacial de 15 m e uma maior resolução espacial (60 m) na banda do infravermelho térmico (banda 6). Esta banda térmica é adquirida em dois modos - 6H (*high gain*) e 6L (*low gain*). A banda 6L tem menor sensibilidade radiométrica mas detecta temperaturas entre -70°C e +90°C, enquanto a banda 6H, apesar da maior sensibilidade radiométrica, tem um alcance muito inferior, medido apenas temperaturas entre -30°C e +60°C. Para este trabalho foi utilizada a banda 6L que, saturando a temperaturas mais elevadas, é a mais adequada na discriminação de áreas anormalmente quentes (Xian e Crane, 2006; Zhang et al., 2008). O aumento na resolução espacial e radiométrica, e sobretudo a disponibilidade de uma banda espectral no infravermelho médio (IVM) tornam o TM e o ETM+ em sensores mais versáteis e

⁸ <http://landsat.gsfc.nasa.gov/about/history.html>

eficientes para estudos à escala global, monitorização de alterações no uso do solo e cartografia de áreas extensas, que os seus precedentes (Eva e Lambin, 1998).

Quadro 3. Características espectrais e espaciais do sensor TM.

# canal espectral	Intervalo espectral (μm)	Região do espectro	Resolução espacial (m)
1	0,45-0,52	Azul	30
2	0,52-0,60	Verde	30
3	0,63-0,69	Vermelho	30
4	0,76-0,90	Infravermelho próximo	30
5	1,55-1,75	Infravermelho médio	30
6	10,4-12,5	Infravermelho térmico	120
7	2,08-2,35	Infravermelho médio	30

3.2.3. Descrição das imagens utilizadas

Foram utilizadas e processadas dez imagens Landsat 5 TM e Landsat 7 ETM+, referentes aos anos 1986, 2002 e 2007, de uma mesma área da Guiné-Bissau, correspondente à região mais ocidental do país - *Path/Row* 204/52 (Figura 12). Foram adquiridas gratuitamente (<http://glovis.usgs.gov/>), já corrigidas e calibradas geométrica e radiometricamente (tipo L1T⁹), tendo sido posteriormente projectadas para o sistema de coordenadas UTM, zona 28 Norte, *datum* WGS84. O pré-processamento das imagens consistiu apenas na uniformização da resolução espacial de todas as bandas e na definição de uma área comum entre todas as imagens que permitisse uma análise multitemporal do regime do fogo. A resolução espacial dos *pixels* das bandas térmicas, originalmente com 120 m para imagens TM, e 60 m para ETM+, foi alterada para 30 m através do algoritmo de vizinho mais próximo (*nearest neighbor*).

Considerando que, em zonas tropicais, a recuperação do sinal pré-fogo ocorre passada uma a duas semanas após o fogo (Roy et al., 2005a), é necessário, para uma caracterização mais precisa do seu regime, utilizar o maior número de observações possível. A estratégia adoptada para a aquisição das imagens considerou não só esta rápida recuperação do sinal pré-fogo, que obriga à obtenção de pelo menos duas datas por época seca (Roy et al., 2005a), mas também a duração da época seca, a disponibilidade de imagens na época seca em arquivo e, por último, a relevância e utilidade de considerar um horizonte temporal mais longo. Pelo obstáculo que traduzem na observação da superfície terrestre, é também importante assegurar a menor contaminação possível por nuvens nas imagens seleccionadas (Chuvieco, 2002). Atendendo a estes factores, condicionantes e indispensáveis a uma adequada caracterização do regime do fogo, seleccionaram-se os anos a analisar neste estudo (Quadro 4).

⁹ http://edcns17.cr.usgs.gov/helpdocs/landsat/product_descriptions.html

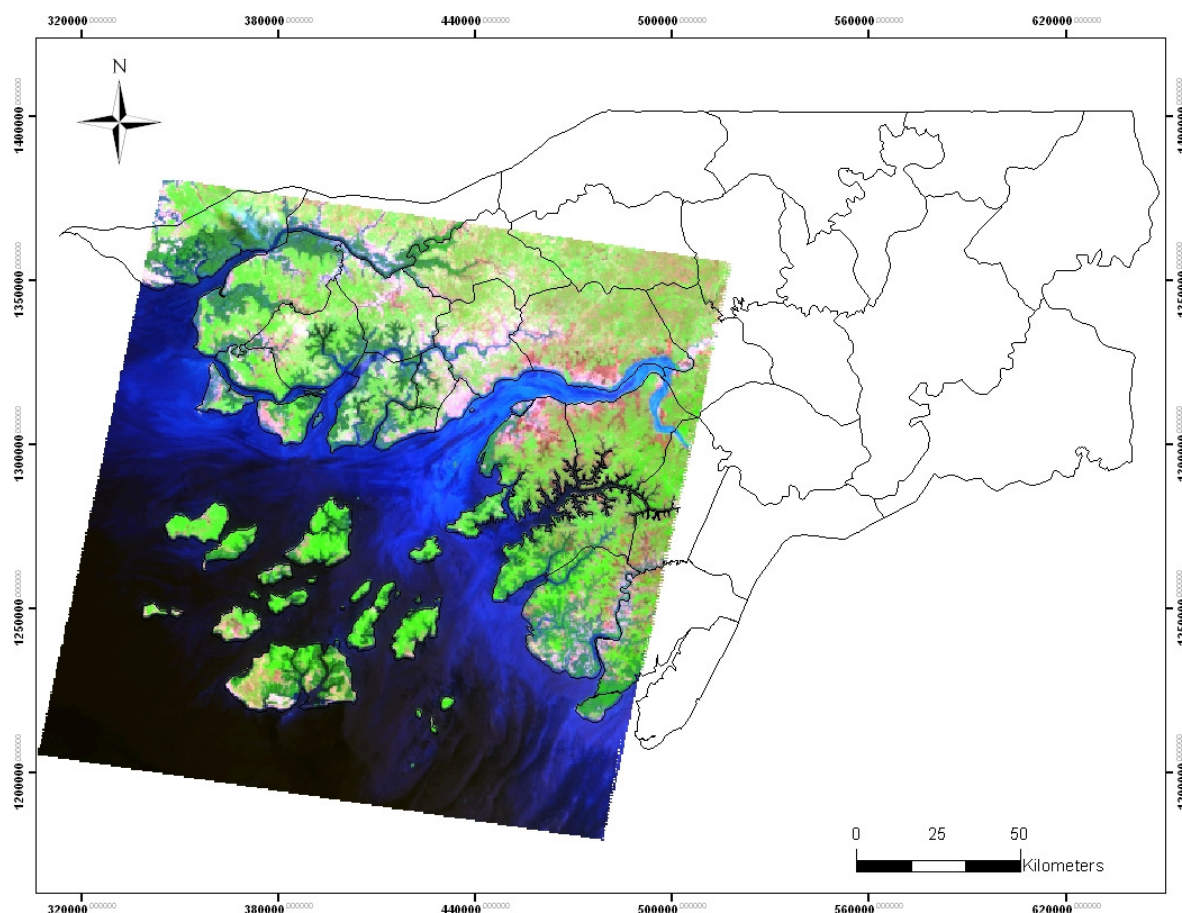


Figura 12. Posição relativa da área de estudo na Guiné-Bissau e limites administrativos dos seus sectores. Composição colorida RGB - canais 7, 4 e 3 -, da imagem em estudo, trajetória (Path)/linha (Row) 204/52 do satélite Landsat.

Quadro 4. Data das imagens Landsat utilizadas para a posição (Path/Row) 204/52 da Guiné-Bissau.

Ano	Data	Satélite/sensor
1986	18 Fevereiro	Landsat 5 / TM
	7 Abril	
2002	21 Janeiro	Landsat 7 /ETM+
	22 Fevereiro	
	11 Abril	
	13 Maio	
2007	27 Janeiro	Landsat 5 / TM
	28 Fevereiro	
	1 Abril	
	19 Maio	

A utilização de várias imagens para uma mesma época seca na cartografia de áreas ardidas concede uma enorme vantagem sobre a utilização de apenas uma única imagem, uma vez que permite diferenciar com maior certeza as áreas ardidas de outros tipos de coberto espectralmente semelhantes, ao mesmo tempo que garante que não se excluem áreas ardidas devido à rápida recuperação do sinal pré-fogo e se consegue determinar mais facilmente o período de ocorrência do fogo (Eva e Lambin, 1998; Pereira et al. 1999; Roy et al. 2005a). Para se obter uma cobertura espacial integral da Guiné-Bissau

são necessárias várias cenas Landsat. Por conseguinte, para que a caracterização do regime do fogo seja exequível no âmbito de um trabalho com esta dimensão, foi necessário restringir a área de estudo. Optou-se por analisar a cena Landsat mais representativa do país (Path/Row 204/52) (Figura 13), que engloba um maior número de sectores e que, ao mesmo tempo, considera alguns sectores com grande alteração do uso do solo, nomeadamente através da introdução de pomares de caju, com grande impacto no uso do fogo, principalmente nas queimadas descontroladas do início da época seca. Optou-se por reduzir a área em análise mas garantir uma correcta cartografia anual das áreas ardidas – com o maior número possível de imagens analisada por época seca -, e uma mais ampla cobertura temporal da ocorrência do fogo, iniciando o período de análise em 1986 e terminando em 2007.

4. METODOLOGIA

4.1. ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE ALGUNS PARÂMETROS DO REGIME DO FOGO

Os mapas de áreas ardidas obtidos pelos produtos do sensor MODIS foram utilizados para uma análise exploratória da variabilidade espacial e temporal do regime do fogo por região da Guiné-Bissau. A frequência do fogo é uma medida média do número de ocorrências durante um período de tempo (Agee, 1993) e pode ser expressa pelo Período de Rotação do Fogo (PRF) se reportada a uma área específica. Temos assim o PRF como o período de tempo necessário para que arda uma área correspondente ao total da área em estudo (Agee, 1993), estimado pela Equação 1:

$$PRF = \frac{N}{\frac{A}{R}} \quad (\text{Equação 1})$$

onde N representa o número de anos em análise, A representa a área total ardida no período em análise e R a área em estudo, neste caso, cada região da Guiné-Bissau.

A percentagem anual de área ardida é uma medida de proporção média da área de estudo R ardida anualmente, e é calculada pela Equação 2:

$$\% \text{ ANUAL DE ÁREA ARDIDA} = \frac{A_{xy}}{R_x} \quad (\text{Equação 2})$$

onde A_{xy} representa o total de área ardida na região x e no ano y e R_x a área total da região x . Pode também ser estimada como parâmetro do regime do fogo, quando calculada para um período de tempo, pelo inverso do PRF.

A Incidência Relativa (IR) dá-nos uma estimativa da preferência do fogo por determinada região e é estimada pela Equação 3:

$$IR = \frac{\frac{A_{xy}}{A_y}}{\frac{R_x}{T}} \quad (\text{Equação 3})$$

onde A_y representa a área ardida total no ano y , e T a área total susceptível de arder, neste caso, a área total do país. Valores de IR superiores a um indicam que a área ardida nessa região é superior à proporção que ela representa no país, e, portanto, que existe preferência do fogo pela mesma. A IR pode ser determinada para todo o período em análise se considerarmos y como a soma de área ardida nos anos em análise.

A percentagem anual de área ardida para cada ano e a percentagem ardida no período em análise, assim como a IR do fogo, foram também calculadas por regiões da Guiné-

Bissau, com os dados do produto de áreas ardidas do sensor MODIS, no contexto de uma análise exploratória.

A análise das contagens diárias de fogos activos permite uma mais detalhada definição do período de ocorrência das queimadas, da sua sazonalidade e da sua variação interanual (Eva e Lambin, 1998). Foi construída uma série temporal resultante das contagens diárias de fogos activos para a Guiné-Bissau para cada um dos anos do período 2001 e 2008. Posteriormente, foi determinada uma série temporal utilizando uma média das ocorrências de fogos no mesmo período. Para suavizar o perfil temporal das ocorrências de fogos foi aplicado um filtro de média móvel para um período de dez dias. Pela aplicação deste filtro cada valor na curva será dado pela média das observações dos dez dias precedentes de forma a evidenciar, com maior clareza, o padrão ou tendência na ocorrência dos fogos na Guiné-Bissau.

4.2. CLASSIFICAÇÃO E VERIFICAÇÃO DAS ÁREAS ARDIDAS

Foi desenvolvida uma cartografia das áreas ardidas para a Guiné-Bissau, mais exaustiva e detalhada do que a existente através de produtos à escala global. Foi escolhida uma mesma secção do país e adquiridas dez imagens Landsat correspondentes a três anos em análise, através das quais se produziram dez mapas de área ardida. Inicialmente, procedeu-se a uma classificação automática dessas imagens, utilizando o método de classificação de Máxima Verosimilhança, um dos métodos de classificação supervisionada mais utilizados na detecção remota (Richards e Xiuping, 2006). O primeiro passo do processo de classificação automática consistiu na definição da legenda sobre a qual a imagem é segmentada e que, neste estudo, consistiu apenas em duas classes: "Ardido" e "Não Ardido". Após a definição da legenda foi necessário recolher informação representativa de cada uma das classes utilizada, de forma a estimar os parâmetros do algoritmo que permitam ao classificador reconhecer áreas espectralmente semelhantes (Richards e Xiuping, 2006). Esta é uma tarefa complexa, que pretende definir com rigor cada uma das classes a discriminar, considerando a sua própria variabilidade (Chuvieco, 2002). O rigor na selecção das áreas de treino irá determinar a precisão da classificação automática feita e simplificar todo o trabalho posterior de correcção de erros.

A discriminação entre área afectada ou não afectada pelo fogo foi um exercício de classificação relativamente simples e, mais do que o classificador utilizado e a sua robustez, importou o resultado final obtido através do trabalho de edição manual dos perímetros de áreas ardidas que complementou o resultado da classificação automática. A precisão da cartografia obtida, que condiciona toda a análise, é determinada não só

pela exactidão desta classificação, como também pelo exaustivo trabalho de verificação e correcção manual dos perímetros de área ardida resultantes.

4.2.1. Áreas de treino

A selecção de áreas de treino é o primeiro passo de uma classificação supervisionada e tem como objectivo a definição de padrões e características que permitam representar e distinguir adequadamente as classes em estudo. Consistiu na selecção de uma amostra de *pixels* que, ao considerar exclusivamente os números digitais (ND), permitisse obter a gama de ND que melhor identifica cada uma das classes. Esta gama de ND não pode ser simplesmente retirada da bibliografia. Considerando que existem inúmeros factores, e.g., as condições atmosféricas e o estado de desenvolvimento da vegetação, as áreas seleccionadas para representar cada classe temática são determinadas pelas condições específicas de cada imagem a classificar. Esta é, portanto, uma caracterização relativa, válida apenas para cada uma das imagens em análise individualmente, e não uma definição absoluta para classificar áreas ardidas. Apesar das imagens descarregadas terem sofrido uma calibração radiométrica sistemática, não foi feita uma correcção dos efeitos atmosféricos nem uma calibração entre imagens diferentes, e, como tal, foi necessário seleccionar diferentes áreas de treino para cada imagem individualmente. O método de aplicar um mesmo conjunto de áreas de treino à globalidade das imagens iria sempre implicar um processo de edição subsequente mais moroso.

Para uma selecção mais precisa das áreas de treino de cada imagem, observaram-se simultaneamente todas as imagens adquiridas para uma mesma época seca. A detecção de alterações no ND na sequência de imagens observadas, nomeadamente por ocorrência de fogo, permitiu uma mais segura e correcta selecção das áreas em cada uma das imagens individualmente. Com este método, é possível evitar erros de classificação de objectos estáticos, como massas de água permanentes e vegetação espectralmente semelhante, que não sofrem alterações entre as duas imagens, o que à partida, considerando a análise de uma única imagem, seria de discriminação bem mais exigente. Estas alterações são muito evidentes quando há ocorrência de fogo uma vez que, em ecossistemas de savana, a recuperação do sinal é muito rápida (Trigg e Flasse, 2000). A detecção das alterações no coberto foi utilizada apenas como auxílio visual na definição das áreas de treino e, posteriormente, na edição dos perímetros de áreas ardidas.

O exemplo indicado na Figura 13 mostra a sequência de imagens Landsat (RGB 743) analisada para a época seca do ano de 2007, assim como os valores de ND correspondentes a cada banda, para cada uma das imagens. A observação simultânea

das quatro imagens, como auxílio visual nesta tarefa de selecção de áreas de treino, é de grande utilidade, na medida em que permite discriminar com maior certeza as áreas afectadas pelo fogo. Neste exemplo, uma área de treino é seleccionada sobre uma zona afectada pelo fogo na imagem de 28 de Fevereiro (Figura 13b). A selecção desta área é fundamentada pela observação de um fogo activo próximo e pela comparação da assinatura espectral média da área seleccionada com a assinatura correspondente à mesma área nas restantes imagens (datas). As alterações no ND médio para as bandas 1 a 5 e 7 são representadas na Figura 13e, e, para a banda 6 independentemente, correspondente ao canal térmico, na Figura 13f. Note-se que a escala de ND nos dois diagramas não é igual, os valores da banda 6, que traduz numericamente valores de temperatura, são muito superiores aos das restantes bandas que, por sua vez, traduzem radiância/reflectância. Embora haja, obviamente, uma grande heterogeneidade na classe “Não Ardido”, estes diagramas são muito úteis na definição da tendência espectral das duas classes e no esclarecimento de dúvidas na selecção das áreas de treino. Ao comparar as médias das assinaturas espectrais da mesma área na sequência das quatro imagens (Figura 13), é evidente que a área de treino seleccionada para a classe “Ardido” na imagem de 28 de Fevereiro corresponde a uma área recentemente afectada pelo fogo. A região espectral do infravermelho próximo (IVP) é aquela que evidencia mais facilmente a recente ocorrência do fogo (Pereira et al., 1999). Há um significativo decréscimo na reflectância no IVP observada a 28 de Fevereiro comparativamente às imagens anterior e posteriores à data em questão, um atenuar do declive *red edge* (aumento característico na reflectância entre os valores das bandas do vermelho e IVP) devido à perda da componente fotossintética da vegetação, e um decréscimo no IVM com um característico, embora ligeiro, *NIR edge* (aumento na reflectância do IVP para o IVM) (Eva e Lambin 1998; Pereira et al. 1999). Esta era uma observação já esperada, pois as áreas afectadas pelo fogo são tipicamente menos reflectivas no IVM do que a vegetação predominantemente senescente das savanas tropicais durante a estação seca (Eva e Lambin 1998; Pereira et al. 1999;). Este factor, em simultâneo com um aumento da temperatura também observado (Figura 13f), funciona como um bom indicador da recente ocorrência de fogo (Eva e Lambin, 1998).

À medida que o tempo passa, a vegetação vai regenerando, a cinza e carvão são dispersos pelo vento, e a separabilidade espectral entre as classes “Ardido” e “Não Ardido” diminui (Eva e Lambin, 1998; Trigg e Flasse, 2000). Não obstante a persistência do sinal térmico observado na imagem de 1 de Abril, a recuperação da vegetação em savanas herbáceas é tipicamente rápida e mais nenhuma das bandas nessa imagem evidencia valores que sugiram a ocorrência de fogo. É, portanto, pertinente referir que o exemplo apresentado na Figura 13 permite, por observação da sequência das imagens e respectiva distribuição da média das assinaturas espectrais, realçar a importância da

aquisição de várias imagens ao longo de uma época seca, só assim garantindo que não se excluam áreas ardidas devido à rápida recuperação do sinal pré-fogo (Eva e Lambin 1998; Trigg e Flasse, 2000; Roy et al. 2005b).

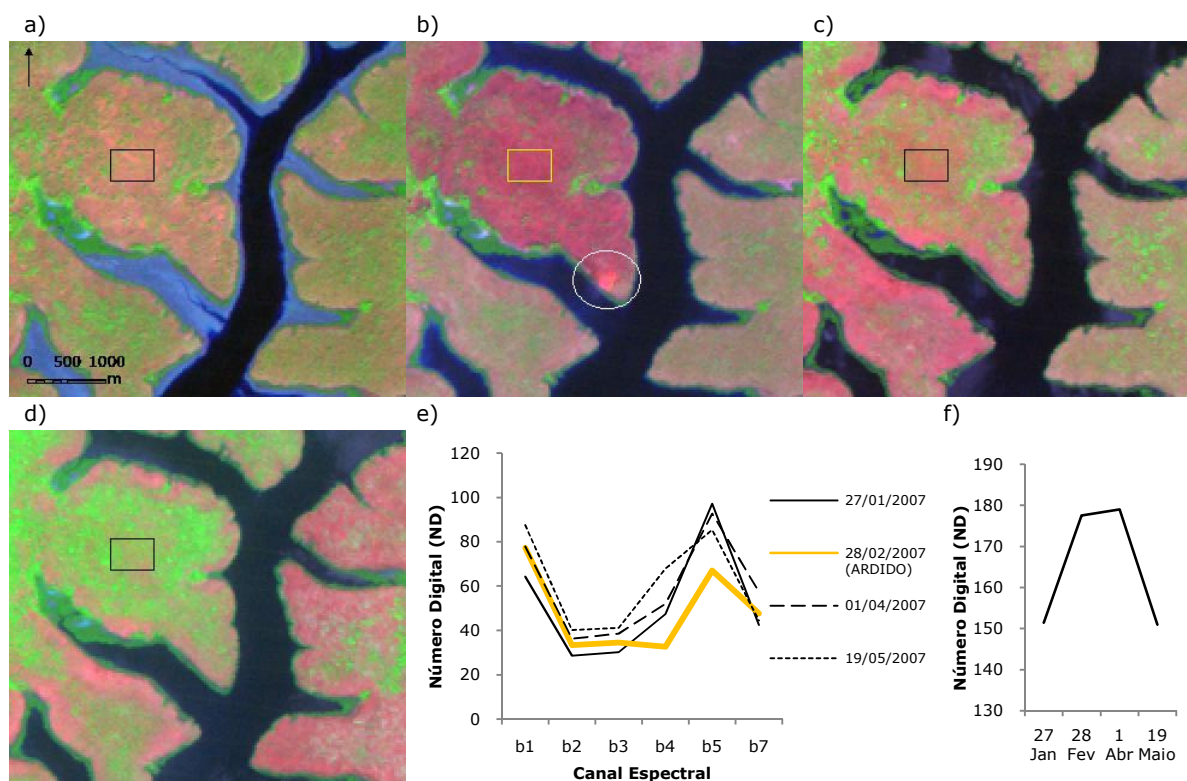


Figura 13. Sequência de imagens Landsat 5 (RGB 743) correspondente à época seca de 2007. Selecção de áreas de treino para a classe “Ardido” (rectângulo amarelo) por detecção de alterações no coberto (savana herbácea), numa mesma área, em imagens de diferentes datas (rectângulos pretos), e por detecção de alterações do ND médio: a) 27 de Janeiro; b) 28 de Fevereiro, com observação de fogo activo (elipse branca) e selecção de área de treino para a classe “Ardido” (rectângulo amarelo); c) 1 de Abril; d) 19 de Maio; e) diagrama da média das assinaturas espectrais das bandas 1 a 5 e 7 da mesma área nas quatro imagens descritas; f) diagrama da média das assinaturas espectrais da banda 6 na mesma área das quatro imagens apresentadas.

O número de *pixels* seleccionados pelo processo descrito anteriormente, para as duas classes contempladas neste estudo, e em cada uma das imagens, é apresentado no Quadro 5. Todas as classes têm um número de *pixels* dado pelas áreas de treino superior aos mínimos recomendados, entre dez a cem vezes o número de bandas (Chuvieco, 2002). A existência de uma menor área ardida na imagem obrigou a um menor número de *pixels* seleccionados, como é o caso das imagens datadas de Janeiro, início da época seca, para os anos de 2002 e 2007.

Uma análise à separabilidade espectral dos *pixels* seleccionados para cada uma das classes foi feita recorrendo à distância de Jeffries-Matusita (Richards e Xiuping, 2006). Este índice foi aqui utilizado como medida de validação das áreas de treino seleccionadas, permitindo aferir se as classes amostradas são semelhantes ou distintas, ou seja, se existe, com base na amostra seleccionada, uma boa diferenciação entre as

classes “Ardido” e “Não Ardido”. Varia entre zero, para as classes espectralmente indiferenciadas, e dois, para as classes totalmente distintas.

Quadro 5. Número de *pixels* de treino seleccionados para cada uma das classes (ardido vs. não ardido) em cada uma das imagens Landsat analisadas.

Data	Ardido	Não Ardido
18/02/1986	640	1 091
07/04/1986	1 999	2 040
21/01/2002	390	454
22/02/2002	1 012	2 052
11/04/2002	1 947	1 659
13/05/2002	1 889	1 748
27/01/2007	400	839
28/02/2007	1 262	2 173
01/04/2007	2 007	1 671
19/05/2007	1 952	2 532

4.2.2. Classificador de Máxima Verosimilhança

Neste estudo recorreu-se ao método de classificação automática de Máxima Verosimilhança, método de classificação supervisionada mais utilizado na detecção remota (Richards e Xiuping, 2006). Este método classifica automaticamente todos os *pixels* de uma imagem avaliando a probabilidade de cada pixel pertencer a uma das classes de estudo. Cada classe é descrita por uma função de probabilidade, a partir do seu vector média e matriz de variância-covariância, cujos valores são obtidos através dos ND dos *pixels* contidos nas áreas de treino seleccionadas para cada classe. É essa função que descreve a distribuição real dos ND para cada classe e permite calcular a probabilidade de um pixel lhe pertencer. O pixel é atribuído à classe que maximize a sua função de probabilidade (Chuvieco, 2002).

4.2.3. Verificação da classificação automática

Neste estudo, mais do que o classificador utilizado e a sua robustez, importou o resultado final obtido através do trabalho de edição manual dos perímetros de áreas ardidas resultantes da classificação automática. Por este motivo, optou-se por utilizar todos os dados obtidos na selecção das áreas de treino para construção do classificador, e não foi considerada a selecção de parte dessas áreas como teste na avaliação do algoritmo de classificação automática. Entendeu-se que seria preferível avaliar o rigor da classificação automática obtida através da sua comparação com a cartografia obtida após observação, edição e correcção dos erros.

Aos polígonos de áreas ardidas resultantes da classificação automática foi feita uma inspecção visual minuciosa para detecção e correcção de erros através de edição manual

dos perímetros. Para reduzir o esforço de edição, eliminar pequenos erros, e obter um resultado mais homogêneo, foi definida uma unidade mínima a cartografar de 1 ha. Esta metodologia é aceitável como princípio genérico da detecção remota. Em casos como este, em que a fracção queimada é muito extensa, é difícil identificar um elemento individual e, do ponto de vista do rigor da classificação, este diminui quando se tenta classificar áreas inferiores a 10 *pixels*. Contudo, admite-se que com esta estratégia se omite alguma área ardida, resultante principalmente de pequenas fogueiras ou pequenas queimadas agrícolas. Como a grande maioria da área ardida se concentra num número relativamente pequeno de grandes fogos, considera-se que o erro de omissão não será considerável.

A relevância da inspecção e edição feita no resultado da cartografia final produzida é inequívoca. A Figura 14 apresenta alguns exemplos de erros da classificação automática, quer por comissão (Figura 14a), quer por omissão (Figura 14c), que foram observados e corrigidos manualmente (Figura 14b e 14d, respectivamente).

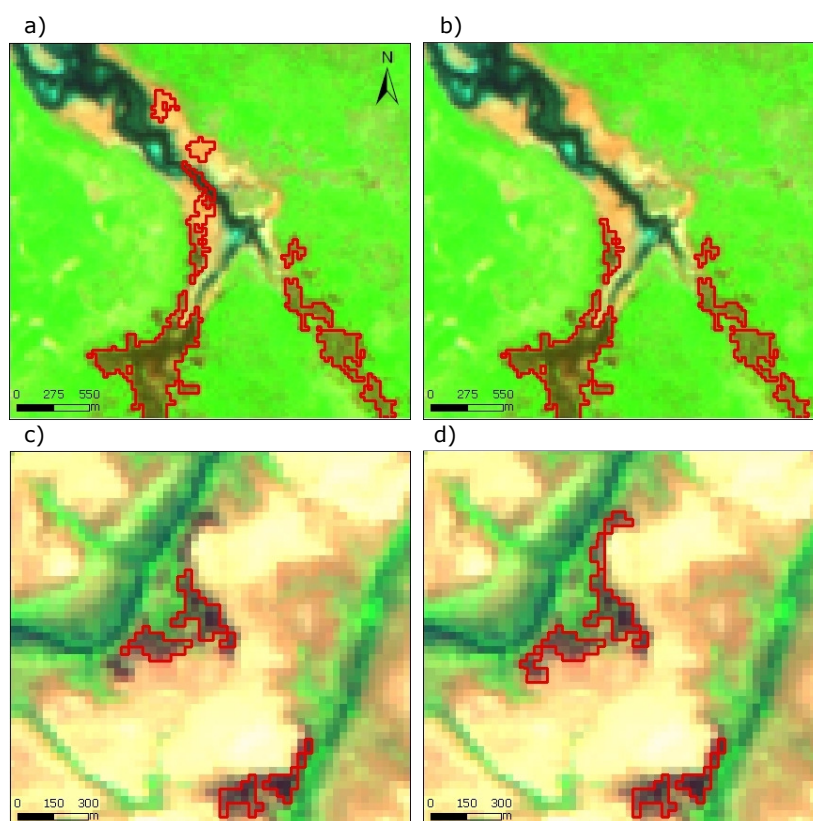


Figura 14. Erros de classificação automática em imagens Landsat 5 (RGB 743) correspondente à época seca de 2007 e respectiva correcção: a) imagem 19/05/2007 classificada (vermelho) com observação de erro por comissão nos polígonos de área ardida (vermelho); b) correcção dos perímetros de área ardida (vermelho) na imagem de 19/05/2007; c) imagem 28/02/2007 classificada (vermelho) com observação de erro por omissão; d) correcção dos perímetros de área ardida (vermelho) na imagem de 28/02/2007.

O resultado da análise exploratória obtida através dos produtos do sensor MODIS desempenhou nesta fase um papel muito relevante, permitindo uma validação qualitativa

através da verificação e comparação destes produtos com a cartografia produzida (Figura 15). Apesar de grande utilidade, a maior parte das queimadas em África dura apenas minutos (Roberts et al., 2009) e por isso não são detectadas no produto de fogos activos.

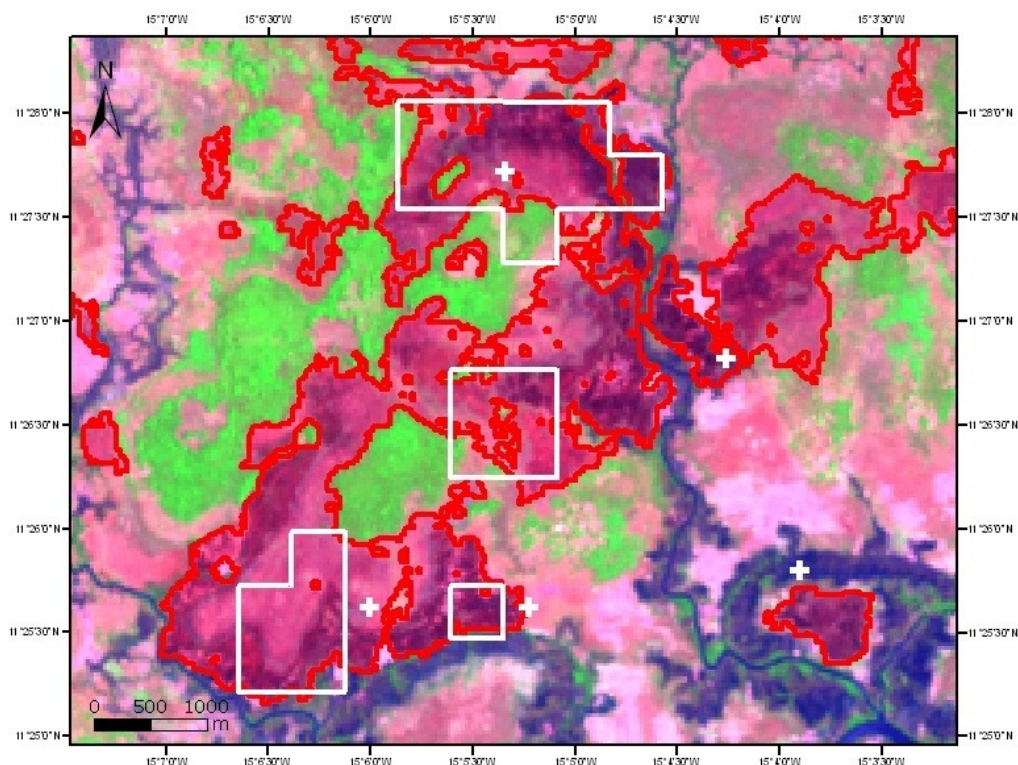


Figura 15. Composição colorida RGB - canais 7, 4 e 3, respectivamente -, de uma secção da imagem Landsat ETM+ de 11/04/2002, sobre a qual se observam os perímetros de áreas afectadas pelo fogo resultantes da classificação automática e já editados manualmente (vermelho), os polígonos do produto de área ardida do sensor MODIS (polígonos brancos) e o produto de fogos activos do sensor MODIS (cruzes brancas).

Foram produzidos, através da classificação obtida, dez mapas de áreas ardidas, através dos quais se calculou a área total ardida por sector da Guiné-Bissau, que possibilitam a comparação de tendências de ocorrência do fogo. Foi adoptado um critério na produção destes mapas que consistiu na exclusão de uma área ardida classificada numa determinada data caso essa mesma área estivesse já cartografada numa data precedente. Este critério assume, portanto, que, numa mesma época seca, uma mesma área não poderá ser afectada pelo fogo mais do que uma vez. Admite-se que este critério é uma limitação e que pode implicar uma subestimativa de área ardida, já que há alguns registos de uma segunda queimada em campos de sequeiro no final da época seca, logo antes do início das chuvas (M. Temudo, com. pess., 2010)

Como avaliação do rigor da classificação automática obtida comparou-se a cartografia obtida pelo classificador com a cartografia obtida após observação, edição e correcção dos erros. Avaliaram-se os erros de comissão e de omissão e determinaram-se os valores

de exactidão global (número de *pixels* bem classificados sobre o número total de *pixels* na imagem) e os do índice de concordância kappa, utilizado como medida de precisão do mapa (Hudson e Ramm, 1987) e definido em termos dos elementos da matriz de erro resultantes da comparação entre os mapas.

Uma análise prévia à presença de nuvens nas imagens permitiu aferir que a maior parte das imagens se encontra livre de nuvens e das suas sombras. Ainda que algumas imagens utilizadas estivessem contaminadas com nuvens, essa presença não ocupa uma área significativa e não alterou a tendência observada e a adequada interpretação da distribuição temporal no regime do fogo.

5. RESULTADOS

5.1. ALGUNS PARAMETROS DO REGIME FOGO

Os dados obtidos pelos produtos do sensor MODIS foram utilizados para uma análise da dinâmica das queimadas na Guiné-Bissau. Foi feita uma descrição da área ardida à escala das regiões da Guiné-Bissau entre os anos 2001 e 2008.

O total de área ardida na Guiné-Bissau foi de 1 173 795 hectares, ao longo dos sete anos em análise (excluindo o ano de 2007), e a maior contribuição para este número deve-se às regiões de Gabú, Bafatá e Oio com valores médios de área ardida anual de aproximadamente 60 000 ha, 48 000 ha e 35 000 ha, respectivamente (Figura 16).

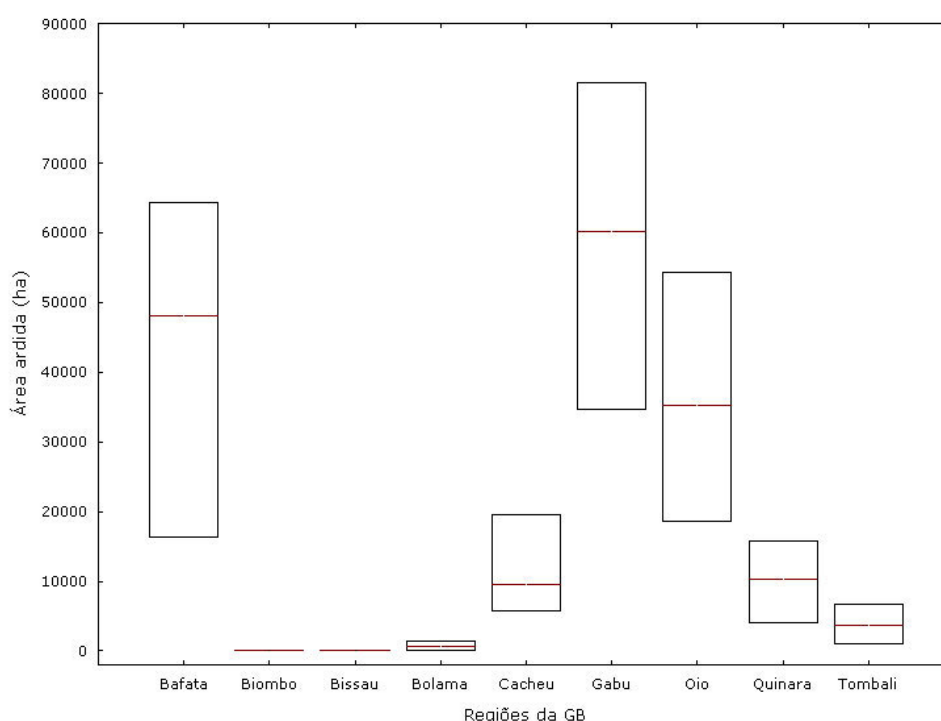


Figura 16. Média anual, valor máximo e mínimo da área ardida (ha) por região da Guiné-Bissau, para os anos 2001-2006 e 2008.

O Quadro 6 sintetiza a informação relativa aos valores absolutos anuais e totais (ha) de área ardida para cada região, assim como o seu valor percentual, e o Período de Rotação do Fogo (PRF), por região, para o conjunto dos anos em análise. Há um aumento da área ardida entre 2001 e 2003 com um acentuado decréscimo em 2004 e, posteriormente, após um novo aumento no total de área ardida em 2005, um progressivo decréscimo na área ardida do ano de 2005 para 2006 e 2008. A percentagem de área ardida em cada um dos anos em análise é representada graficamente para cada região (Figura 17). As regiões que apresentam maior percentagem anual de área ardida são Bafatá, Gabú e Oio, com valores de 8,3%, 6,7% e 6,4% respectivamente. Bolama, Biombo e Bissau são

as regiões com menor área ardida neste período, com valores tão baixos que, em termos percentuais, não têm significado.

Quadro 6. Valores absolutos (ha) e percentuais (entre parêntesis) de área ardida por ano e região, bem como valores totais para a Guiné-Bissau. Indicam-se também os valores do Período de Rotação do Fogo (PRF, anos) e percentagem anual de área ardida (%AAA) por região, para o período considerado.

REGIAO	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2008	%AAA	PRF
Bafatá	64 289,6 (11,1)	48 562,6 (8,4)	57 081,6 (9,8)	16 338,0 (2,8)	56 464,2 (9,7)	48 938,5 (8,4)	44 336,7 (7,6)	8,3	12
Biombo	0,0 (0,0)	44,8 (0,1)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	21,5 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0	8 599
Bissau	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	21,5 (0,2)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0	3 268
Bolama	1 330,9 (0,7)	629,0 (0,3)	107,3 (0,1)	279,1 (0,1)	21,5 (0,0)	880,1 (0,5)	987,4 (0,5)	0,3	308
Cacheu	8 971,5 (1,9)	5 972,8 (1,2)	19 601,6 (4,1)	8 069,5 (1,7)	9 874,9 (2,0)	8 897,1 (1,8)	5 731,8 (1,2)	2,0	50
Gabu	69 016,0 (1,9)	76 873,8 (1,2)	81 430,8 (4,1)	34 615,1 (1,7)	76 388,4 (2,0)	44 246,5 (1,8)	38 701,5 (1,2)	6,7	15
Oio	39 142,9 (7,1)	54 359,3 (9,9)	48 826,8 (8,9)	18 658,2 (3,4)	34 503,4 (6,3)	27 436,0 (5,0)	24 143,6 (4,4)	6,4	16
Quínara	9 287,1 (3,1)	10 944,6 (3,6)	9 041,8 (3,0)	8 236,5 (2,7)	15 117,3 (5,0)	15 821,8 (5,3)	4 021,0 (1,3)	3,4	29
Tombali	3 953,0 (1,1)	2 566,0 (0,7)	2 823,6 (0,8)	2 413,3 (0,7)	6 684,3 (1,9)	6 020,3 (1,7)	1 069,1 (0,3)	1,0	96
TOTAL	187 019,5 (5,7)	193 980,1 (5,8)	199 311,9 (6,4)	80 561,7 (2,6)	189 200,6 (5,8)	143 343,2 (4,4)	113 259,3 (3,5)	4,9	21

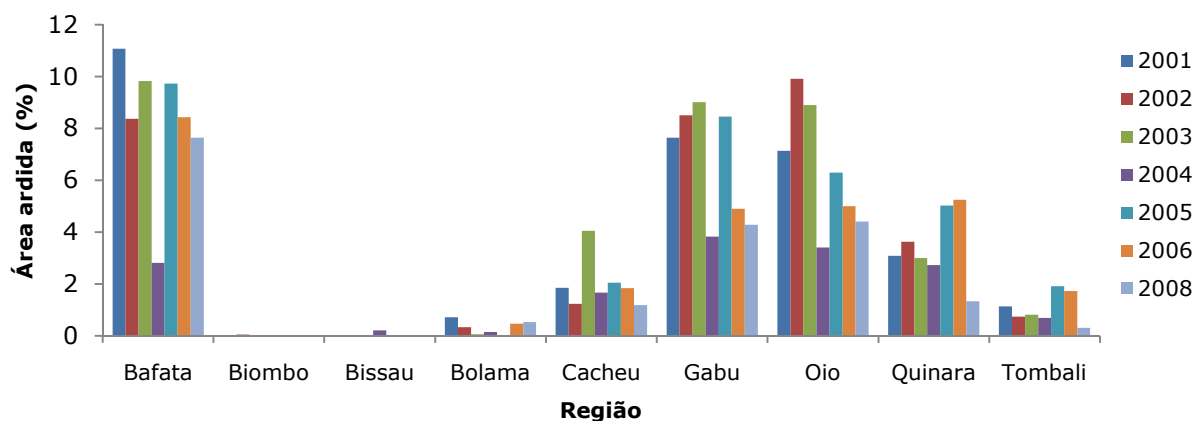


Figura 17. Percentagem de área ardida por região e por cada ano em análise.

Os valores do PRF para o conjunto dos anos em análise são apresentados geograficamente, de forma a evidenciar a sua distribuição espacial (Figura 18). A região Biombo e Bissau são as que apresentam o maior PRF. Gabú, Oio e Bafatá são as regiões de menor PRF, com um valor mínimo de 12 anos para Bafatá (i.e., são necessários apenas 12 anos para arder uma área equivalente à desta região).

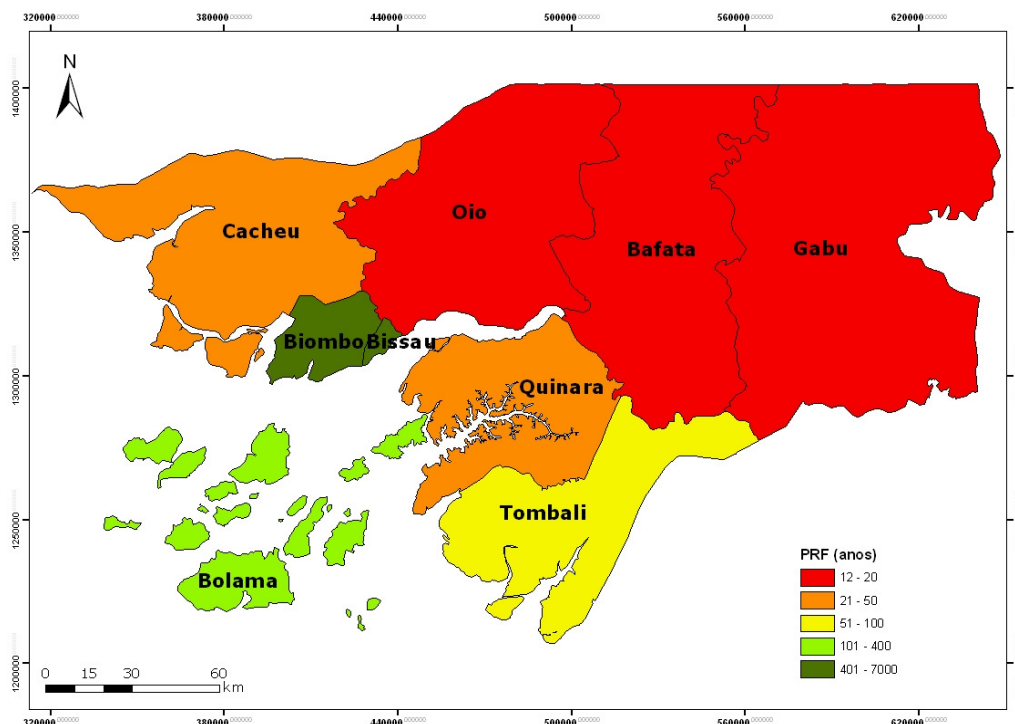


Figura 18. Período de Rotação do Fogo (PRF, anos) por regiões da Guiné-Bissau, para o período 2001 – 2006 e 2008.

A informação relativa à percentagem anual de área ardida por região em estudo é sintetizada na Figura 19 onde são evidentes quais as regiões que mais contribuem para o total de área ardida no país.

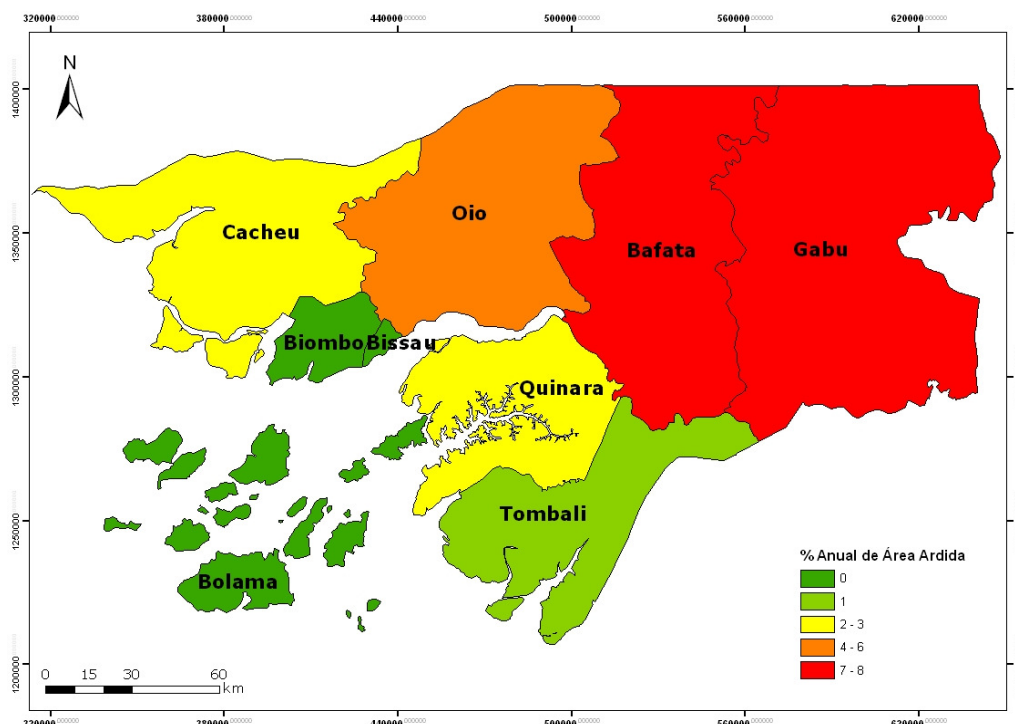


Figura 19. Percentagem anual de área ardida por regiões da Guiné-Bissau para o conjunto de anos em análise.

A Incidência Relativa do fogo em cada região (Quadro 7) salienta uma preferência do fogo pelas regiões Bafatá, Gabú e Oio. Esta preferência varia consoante os anos em cada uma das três regiões, sendo maior em 2001 e 2006 em Bafatá; 2002 em Oio e, em Gabú, os maiores valores de IR registam-se em 2002, 2004 e 2005. A região de Quínara, apesar de apresentar um valor de IR média abaixo de um, apresentou preferência do fogo por esta região nos anos 2004 e 2006. É ainda de notar que, tendo sido o ano de 2004 um ano atípico, com valores absolutos de área ardida muito inferior aos restantes anos, a IR reflecte quais as regiões mais responsáveis por esse acentuado atenuar, nomeadamente Bafatá, com um valor de IR inferior à média de todos os anos.

Quadro 7. Incidência relativa (IR) do fogo por ano e região; IR média por região

Região	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2008	IR Média
Bafatá	1,9	1,4	1,5	1,1	1,7	1,9	2,2	1,7
Biombo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bissau	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Bolama	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1
Cacheu	0,3	0,2	0,6	0,6	0,4	0,4	0,3	0,4
Gabú	1,3	1,5	1,4	1,5	1,5	1,1	1,2	1,4
Oio	1,3	1,7	1,4	1,3	1,1	1,1	1,3	1,3
Quínara	0,5	0,6	0,5	1,1	0,9	1,2	0,4	0,7
Tombali	0,2	0,1	0,1	0,3	0,3	0,4	0,1	0,2

A análise das contagens de fogos activos permite a compreensão mais detalhada dos padrões temporais do fogo. Foi construída uma série temporal resultante das contagens diárias de fogos activos para a Guiné-Bissau entre os anos 2001 e 2008 (Figura 20). Note-se que o número de ocorrências nos dois primeiros anos em análise é muito inferior ao dos anos subsequentes. Este facto deve-se à existência de apenas um satélite (MODIS-Terra) a recolher informação nestes dois anos, uma vez que só em Maio de 2002 foi colocado em órbita o sensor MODIS-Aqua. Contudo, observe-se também que, embora quantitativamente haja uma diferença considerável entre os anos - plenamente justificada -, o padrão temporal de ocorrência do fogo se mantém, com dois períodos, embora menos distintos, de ocorrência de fogos no início e no final da estação seca.

Utilizando uma média das ocorrências de fogos entre os anos 2001 e 2008 (Figura 21), é possível observar uma distribuição aproximada da sazonalidade de ocorrência do fogo. Com esta análise dos dados é possível estabelecer a quantidade aproximada de fogos que, em média, são abrangidos na análise das imagens Landsat seleccionadas para cada ano e, ao mesmo tempo, as observações que não são contabilizadas nesta mesma análise. Observe-se, por exemplo, que para o ano 1986, para o qual só se encontravam disponíveis duas imagens na época seca, a data da última imagem analisada é muito cedo na época seca (7 de Abril) e que, até ao momento, só são contabilizados em média 68% do total dos fogos ocorridos.

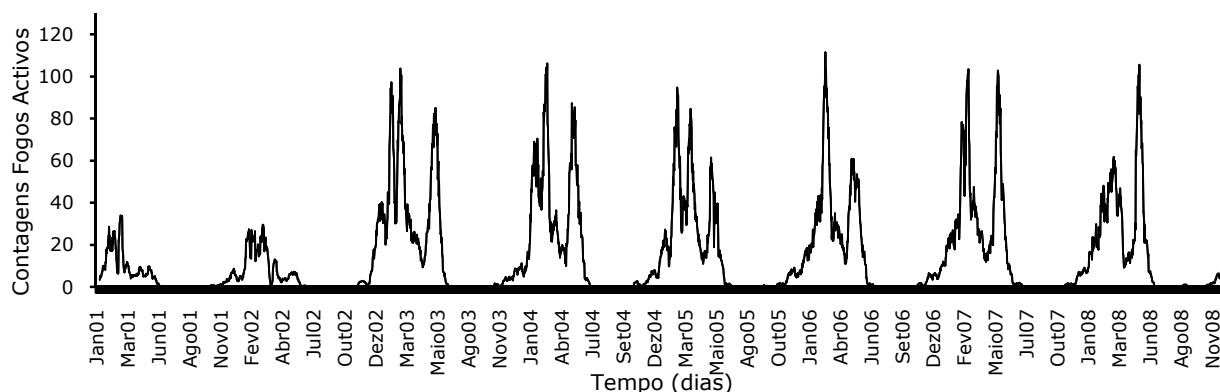


Figura 20. Contagem de ocorrências de fogos activos (produto de fogos activos do sensor MODIS) entre os anos 2001 e 2008 para a Guiné-Bissau com a aplicação de um filtro de média móvel de 10 dias.

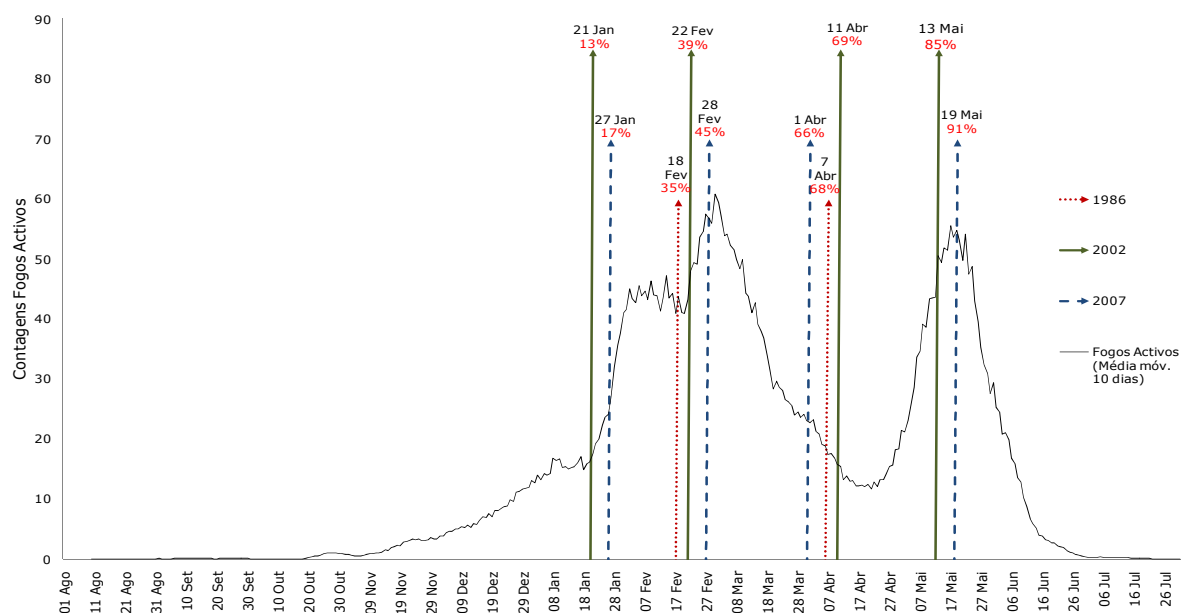


Figura 21. Média do número de fogos activos (produto de fogos activos do sensor MODIS) no período 2001-2008, após a aplicação de um filtro de média móvel de dez dias. Identificam-se as imagens Landsat correspondentes a cada um dos anos em análise - 1986, 2002 e 2007 -, ao longo da época seca, com informação da percentagem cumulativa do número médio de fogos activos até à respectiva data.

Apesar do padrão generalizado de dois picos de ocorrência de fogo ao longo da época (Figura 21), existe uma variação ao longo do país, consoante a região e o sector em análise. Dois exemplos de variantes ao padrão geral de ocorrência de fogos no país são apresentados à escala regional (Figura 22) e dos sectores (Figura 23) do país. A Figura 22 apresenta a diferença na sazonalidade do fogo em duas regiões muito distintas, quer em termos de características fitogeográficas como culturais: Gabu e Tombali. Na região de Tombali destacam-se dois sectores ilustrativos desta mesma variabilidade de ocorrência do fogo entre sectores (Figura 23).

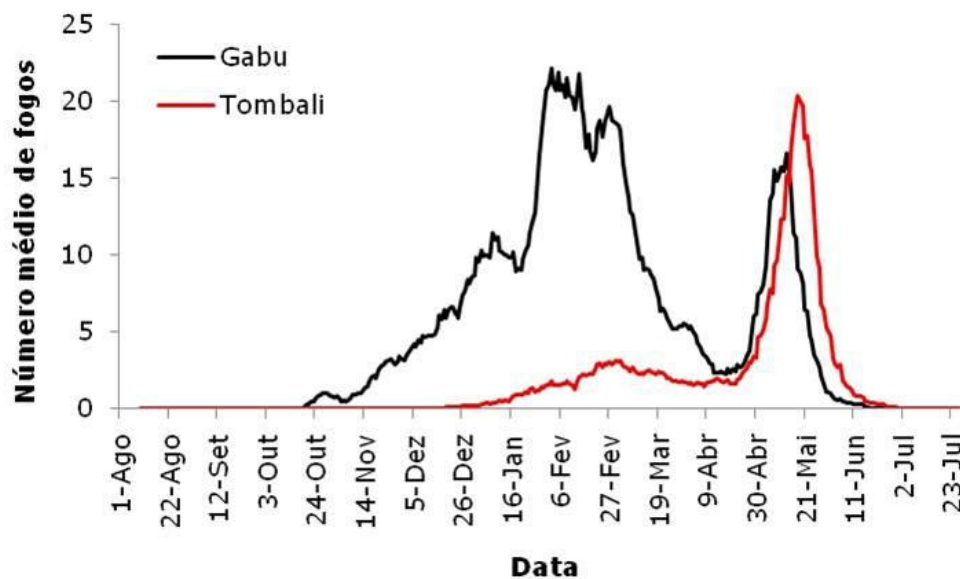


Figura 22. Número médio de ocorrências de fogos ativos (produto de fogos ativos do sensor MODIS) entre os anos 2001 e 2008, para as regiões Gabu e Tombali, com a aplicação de um filtro de média móvel de 10 dias.

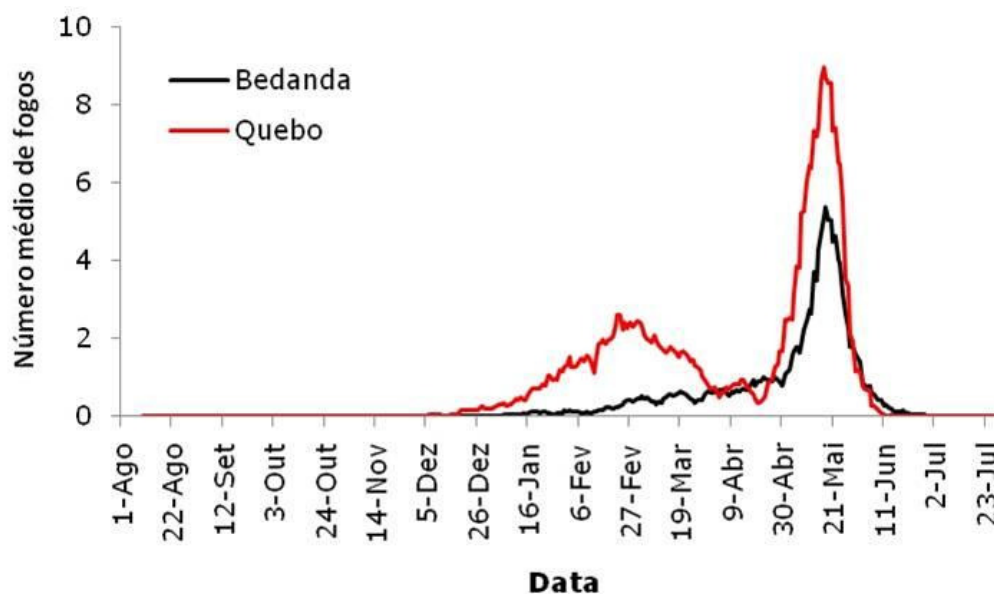


Figura 23. Número médio de ocorrências de fogos ativos (produto de fogos ativos do sensor MODIS) entre os anos 2001 e 2008, para os sectores Bedanda e Quebo da região de Tombali, com a aplicação de um filtro de média móvel de 10 dias.

A densidade de fogos em cada região (frequência absoluta por área da região) é apresentada na Figura 24. Estes dados são comparados com os valores de densidade populacional. Através desta comparação observa-se que, tendencialmente, as regiões que apresentam uma baixa densidade populacional são aquelas que, tendencialmente, apresentam mais alta densidade de fogos. Exceptua-se Bolama pelas suas características insulares muito específicas.

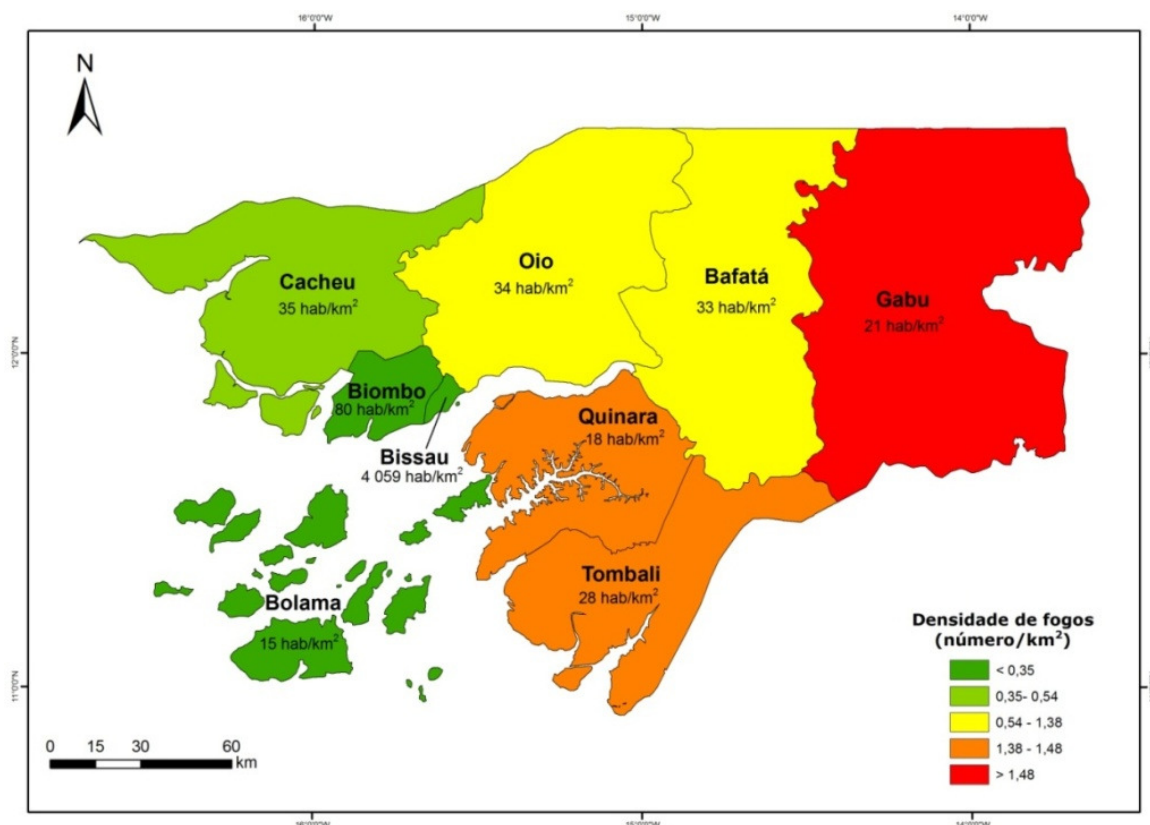


Figura 24. Densidade de fogos e densidade populacional, por região da Guiné-Bissau.

5.2. CARTOGRAFIA DAS ÁREAS ARDIDAS

5.2.1. Separabilidade espectral e precisão da cartografia produzida

Os valores da distância de Jeffries-Matusita obtidos para as áreas de treino seleccionadas em cada imagem (Quadro 8) mostram valores muito próximos de dois, garantindo assim a separabilidade espectral entre as duas classes (i.e., “ardido” e “não ardido”).

Quadro 8. Distância de Jeffries-Matusita para determinação da separabilidade espectral entre a assinatura espectral das áreas de treino recolhidas para as duas classes (“ardido” e “não ardido”) nas dez imagens Landsat em análise.

Imagem	Distância de Jeffries-Matusita
18/02/1986	1,80
07/04/1986	1,97
21/01/2002	1,87
22/02/2002	1,99
11/04/2002	1,99
13/05/2002	1,99
27/01/2007	1,90
28/02/2007	1,89
01/04/2007	1,92
19/05/2007	1,97

Dada a boa separabilidade espectral entre classes, medida pela distância de Jeffries-Matusita, optou-se por utilizar todos os dados obtidos por selecção das áreas de treino na

construção do classificador, e, como forma de validação da classificação, avaliou-se o rigor da classificação automática obtida através da sua comparação com a cartografia obtida após observação, edição e correcção dos erros. As divergências observadas entre as duas classificações, pré e pós edição manual, são apresentadas no Quadro 9. Tanto os valores de exactidão global como os do índice de concordância kappa são muito elevados, e tanto erros de comissão como de omissão observados são, por sua vez, residuais. Erros superiores a 1% são observados na classe "Ardido": de omissão, nas imagens de 18 de Fevereiro de 1986 e 27 de Janeiro de 2007; e de comissão nas imagens de 21 de Janeiro de 2002, e 1 de Abril de 2007. Estes erros são observados sobretudo nas imagens de início da época seca, quando a estimativa do total de área ardida registada é inferior.

Quadro 9. Medidas de validação para as classificações obtidas pelo classificador de Máxima Verosimilhança; EG – exactidão global, ICK – índice de concordância kappa, EO – erro de omissão, EC – erro de comissão, A – ardido, e NA – não ardido.

Ano	Data	EG (%)	ICK	Medidas de validação			
				EO (%)		EC (%)	
				A	NA	A	NA
1986	18 Fevereiro	99,97	0,991	1,59	0,00	0,17	0,03
	7 Abril	99,99	0,997	0,26	0,01	0,26	0,01
	21 Janeiro	99,99	0,989	0,32	0,00	1,78	0,00
2002	22 Fevereiro	99,99	0,997	0,39	0,00	0,22	0,01
	11 Abril	99,98	0,996	0,10	0,02	0,73	0,00
	13 Maio	99,98	0,995	0,07	0,02	0,88	0,00
2007	27 Janeiro	99,99	0,960	1,64	0,01	6,25	0,00
	28 Fevereiro	99,98	0,993	0,97	0,01	0,38	0,01
	1 Abril	99,97	0,994	0,16	0,03	1,11	0,00
	19 Maio	99,97	0,993	0,71	0,01	0,59	0,01

5.2.2. Áreas ardidas

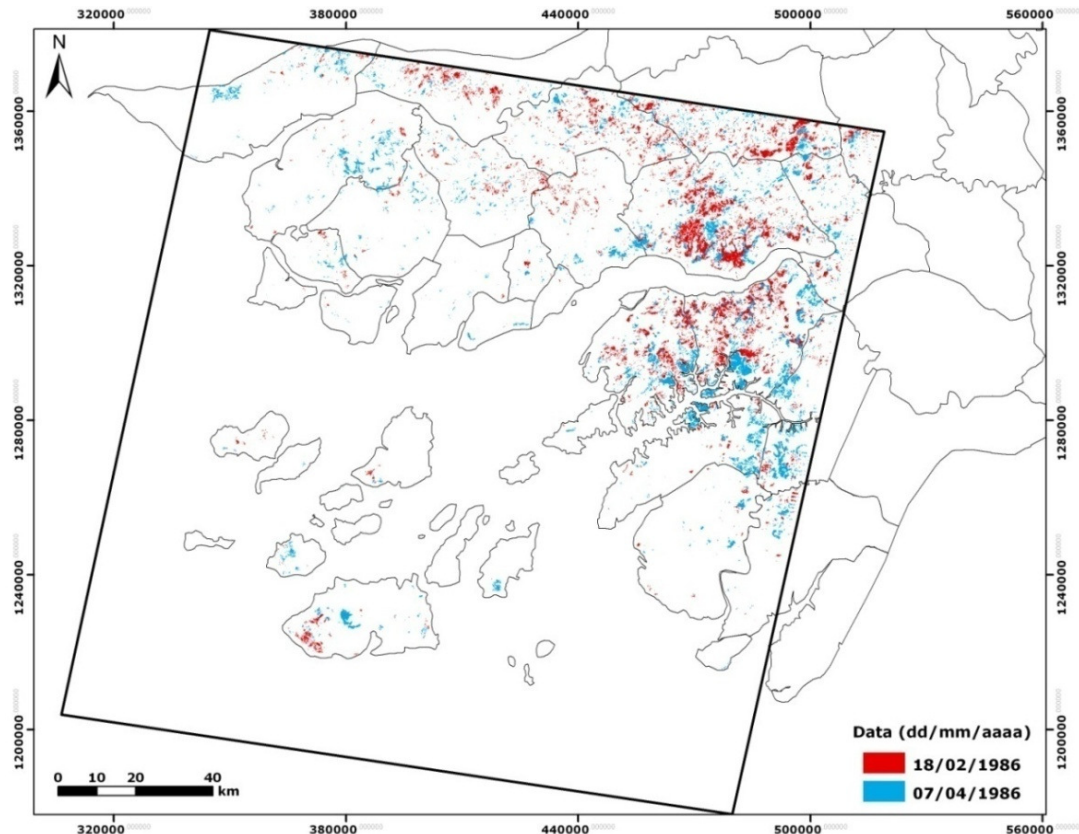
Na produção das cartas de áreas ardidas para uma secção da Guiné-Bissau, é importante salientar que alguns dos sectores apenas estão contidos parcialmente na área em estudo, só sendo considerada neste estudo uma área muito exígua (Quadro 10). Foram apenas considerados nesta análise os sectores representados em mais de 40% da sua área, excluindo-se, por isso, o sector Gamamundo (assinalado com o símbolo * no Quadro 5), com apenas 9% da sua área considerada, da subsequente análise. Nos restantes sectores cuja área é também subrepresentada, a interpretação feita aos resultados deverá ser cuidada, na medida em que a sua análise parcial pode não reflectir a realidade de todo o sector. Refiram-se, com particular destaque, os sectores Mansaba, Bedanda e Buba, cuja área considerada é inferior a 50% da área do sector.

Quadro 10. Sectores da Guiné-Bissau presentes na imagem Landsat (Path/Row 204/52), respectiva área total, e área incluída neste estudo. O sector de Gamamundo, cuja área incluída na imagem é tão pequena, não será usado na análise, surgindo representado com um *

Sector	Área (ha)		%
	Total	Este estudo	
Bambadinca	80 118,9	42 732,6	53
Bedanda	101 757,5	44 820,8	44
Bigene	92 949,3	58 035,3	62
Bissau	10 036,8	10 036,8	100
Bissora	79 357,5	73 513,5	93
Bolama/Bijagos	186 241,4	186 241,4	100
Buba	81 854,0	38 730,0	47
Bula	66 534,4	66 534,4	100
Cacheu	94 251,3	94 251,3	100
Caio	55 260,1	55 260,1	100
Canghungo	67 942,7	67 942,7	100
Catio	89 572,9	89 572,9	100
Empada	66 887,3	66 887,3	100
Fulacunda	82 572,6	82 572,6	100
Gamamundo*	100 304,1	9 252,7	9
Mansaba	122 882,1	53 805,6	44
Mansoa	120 984,2	120 984,2	100
Nhacra	67 317,0	67 317,0	100
Prabis	17 079,4	17 079,4	100
Quinhamel	47 218,9	47 218,9	100
Safim	17 148,0	17 148,0	100
Sao Domingos	106 498,1	81 094,1	76
Tite	69 933,9	69 933,9	100

As cartas com os perímetros de áreas ardidas para os meses em análise dos anos 1986, 2002 e 2007 são apresentadas na Figura 25a-c.

a)



b)

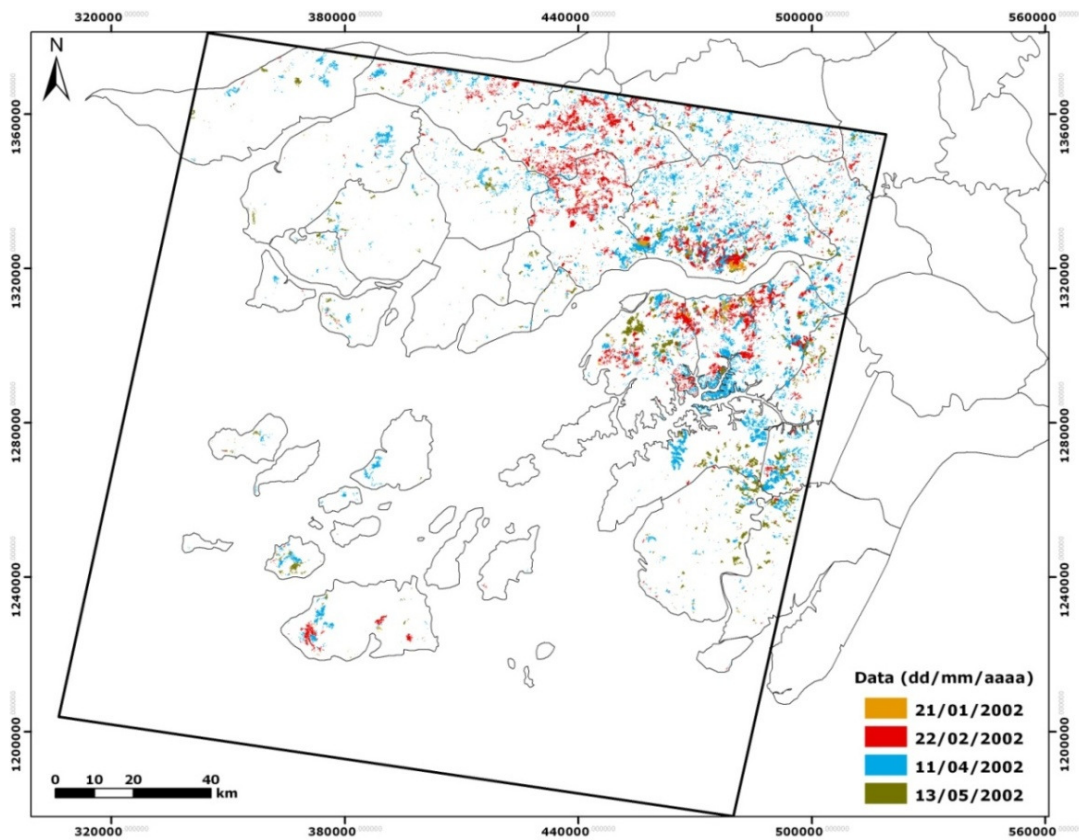


Figura 25. Área ardida para a zona da Guiné-Bissau correspondente à imagem Landsat 204/52, para os anos de a) 1986 (dias 18/02 e 07/04), b) 2002 (dias 21/01, 22/02, 11/04 e 13/05), e c) 2007 (dias 27/01, 28/02, 01/04 e 19/05).

c)

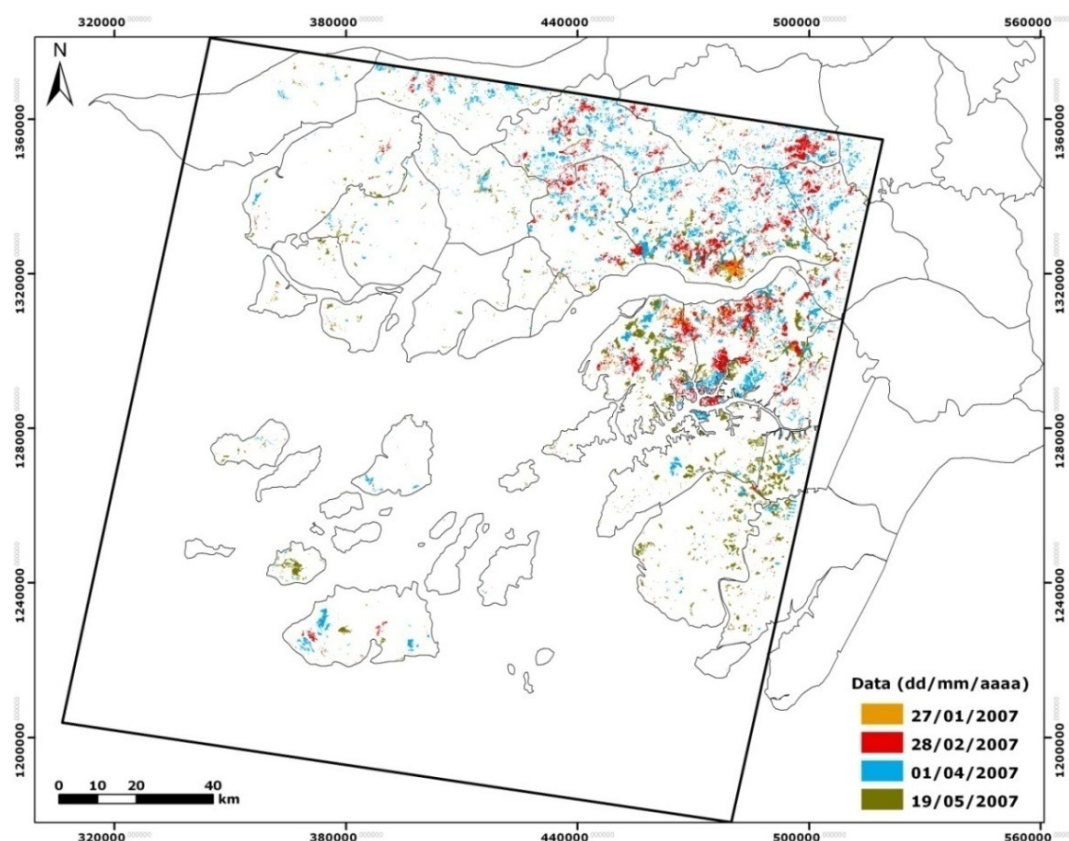


Figura 25. (continuação)

O Quadro 11 apresenta o total da área ardida em cada uma das datas das imagens Landsat, o total ardido em cada um dos anos em análise e a área ardida (ha) discriminada por sector e por data.

5. RESULTADOS

Quadro 11. Área ardida (ha) discriminada por data da imagem Landsat e por sector. Todos os sectores que, por não terem a sua área totalmente considerada na análise, estão assinalados com *.

Sector	1986		2002				2007			
	18 Fev	18 Abr	1 Jan	22 Fev	11 Abr	13 Mai	27 Jan	28 Fev	1 Abr	19 Mai
Sao Domingos*	452	2 136	0	87	1 216	490	7	17	301	190
Bigene*	2 725	1 065	95	1 848	1 763	186	6	687	2 419	587
Cacheu	436	2 780	36	119	1 268	168	93	298	436	551
Caio	317	469	21	94	675	396	79	57	57	725
Canghungo	321	906	5	55	476	429	0	64	454	715
Bula	1 511	1 342	38	193	1 710	816	26	84	958	901
Bissau	16	80	22	30	207	221	22	10	17	150
Prabis	7	228	9	0	77	52	1	2	5	34
Quinhamel	45	118	0	7	29	62	0	2	15	114
Safim	148	198	0	7	362	216	0	20	33	164
Bolama	1 592	2 657	72	1 458	2 820	979	82	622	2 297	2 058
Bissora*	4 219	2 599	129	8 257	3 275	580	56	3 682	5 418	876
Mansaba*	6 104	3 265	7	1 356	3 726	460	45	3 520	3 429	540
Mansoa	14 420	8 174	1 129	7 409	12 302	2 824	1 622	7 906	10 478	4 889
Nhacra	1 427	1 747	212	5 973	3 107	425	60	2 671	3 198	1 197
Buba*	1 049	4 748	112	1 046	3 750	2 079	159	855	2 177	3 248
Empada	697	4 015	14	199	4 174	1 608	85	155	1 098	2 969
Fulacunda	9 930	9 321	1 155	7 643	9 519	1 473	1 069	9 690	7 011	4 023
Tite	5 279	4 718	256	4 466	3 204	3 192	912	4 153	2 671	5 610
Bedanda*	407	952	31	153	783	1 405	112	153	648	1 828
Catio	346	848	23	227	1 270	2 036	46	180	385	3 701
Bambadinca*	1 819	2 446	5	1 018	3 144	750	35	3 135	3 168	809
Total (imagem)	53 266	54 813	3 371	41 645	58 856	20 847	4 516	37 962	46 671	35 880
Total (ano)	108 079		124 719				125 029			

O total da área ardida (ha) em cada uma das imagens Landsat e o total de área ardida discriminado por sector e data são também apresentados graficamente na Figura 26 e Figura 27, respectivamente.

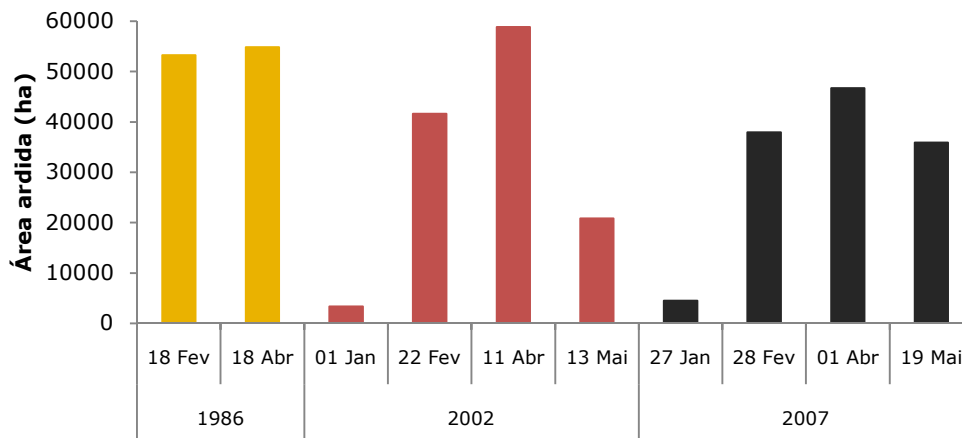


Figura 26. Área ardida (ha) cartografada em cada imagem (data) Landsat

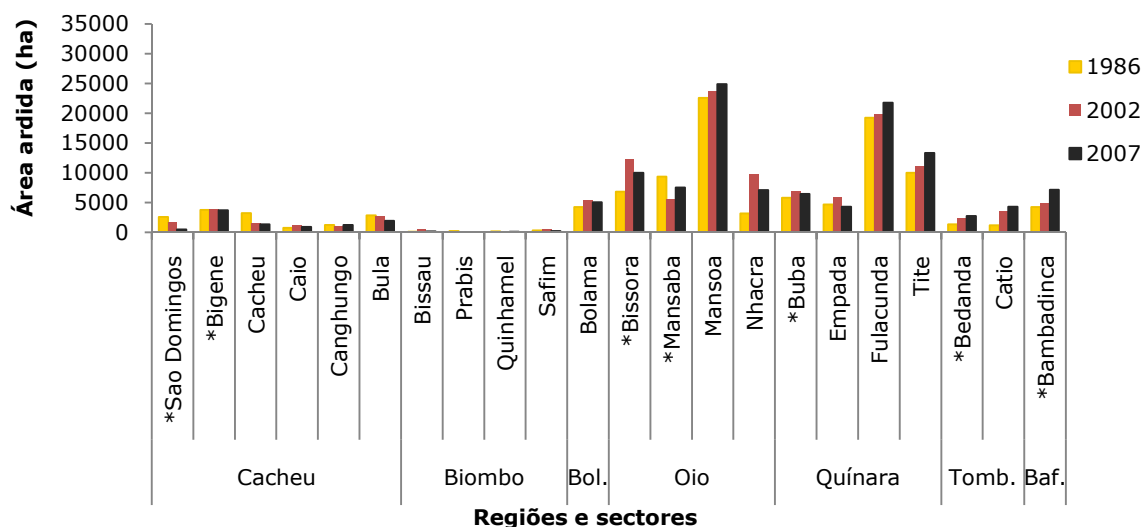


Figura 27. Área ardida por sector para a área em estudo nos anos 1986, 2002 e 2007. Todos os sectores que, por não terem a sua área totalmente incluída na análise, estão assinalados com *.

Considerando que o ano de 1986 foi representado por apenas duas imagens, enquanto os anos subsequentes (2002 e 2007) foram caracterizados com recurso a quatro imagens, com melhor distribuição ao longo da época seca, os resultados do total de área ardida obtidos não são comparáveis entre si. Contudo, pode notar-se que nos fogos de início de época seca, até à data de 18 de Abril, em 1986, a área ardida é superior à dos dois anos seguintes para igual período.

Observa-se um decréscimo no total de área ardida nos sectores Bigene, Buba, Cacheu, São Domingos e Bula. Em alguns casos, nomeadamente nos sectores pertencentes à região de Quínara (Fulacunda e Tite), a área ardida volta a aumentar em 2007. Observam-se ainda alguns casos de aumento na área ardida, nomeadamente Bedanda, Catió e Mansoa.

A sazonalidade do fogo é discriminada por sector e apresentada para os anos de 1986 (Figura 28), 2002 (Figura 29) e 2007 (Figura 30) com base nos valores de área ardida (ha) determinados em cada uma das imagens.

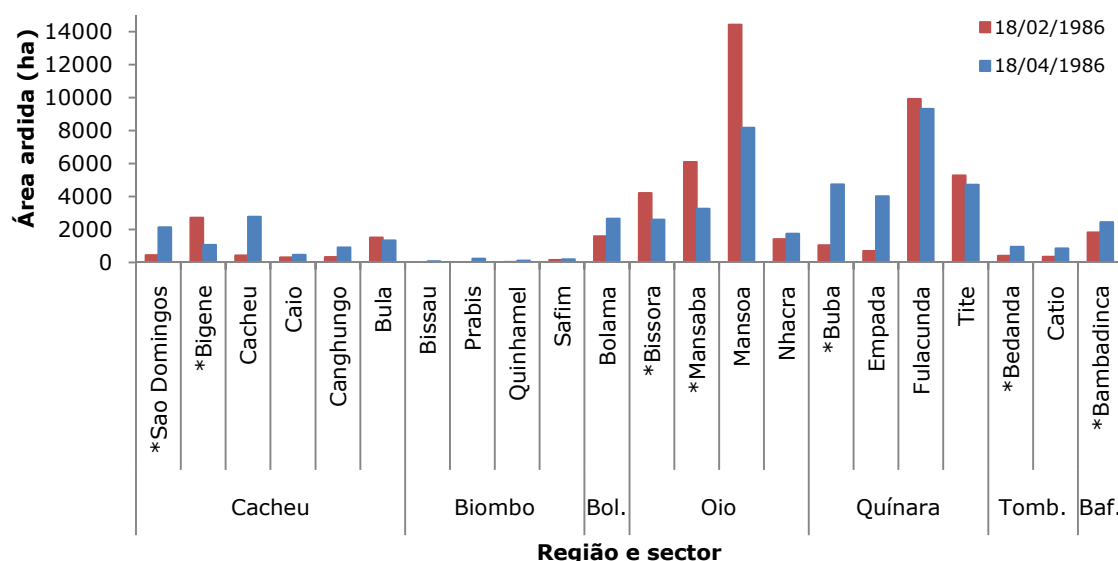


Figura 28. Área ardida (ha) por sector cartografada nas imagens de 18/02/1986 e 18/04/86. Todos os sectores que, por não terem a sua área totalmente considerada na análise, estão assinalados com *.

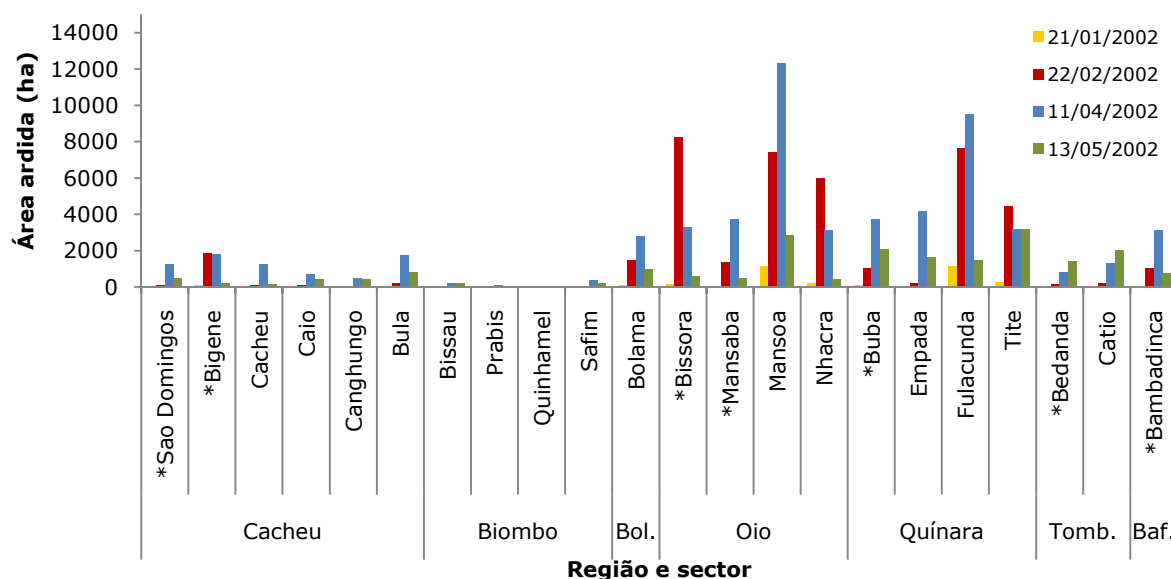


Figura 29. Área ardida (ha) por sector cartografada nas imagens de 01/01/2002, 22/02/2002, 11/04/2002 e 13/05/2002. Todos os sectores que, por não terem a sua área totalmente considerada na análise, estão assinalados com *.

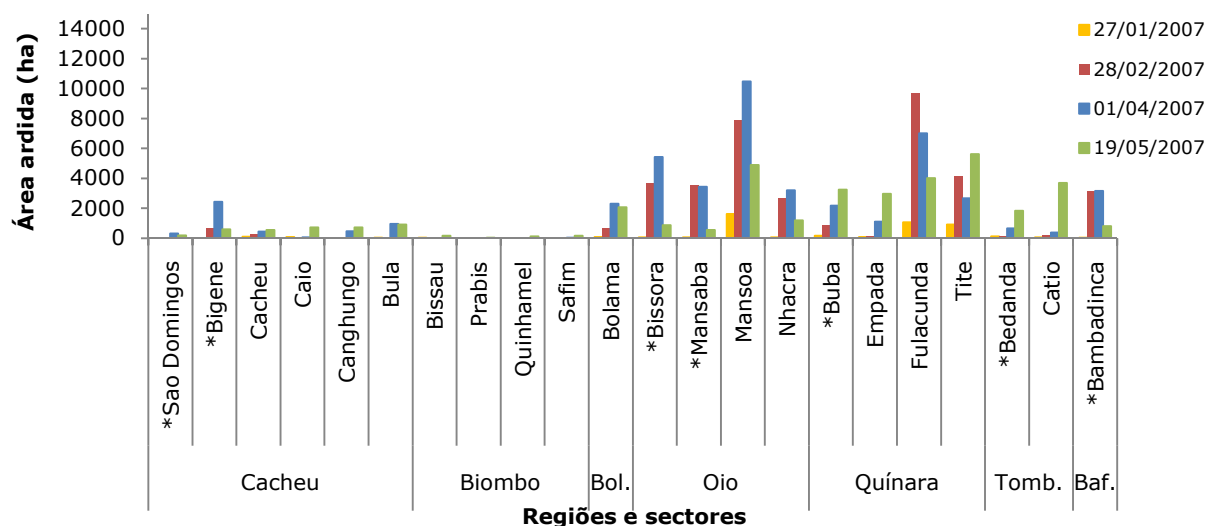


Figura 30. Área ardida (ha) por sector cartografada nas imagens de 27/01/2007, 28/02/2007, 01/04/2007 e 19/05/2007. Todos os sectores que, por não terem a sua área totalmente considerada na análise, estão assinalados com *.

Uma análise dos principais tipos de coberto afectados pelo fogo nas várias datas e sua sazonalidade é apresentada para 2002 (Figura 31) e 2007 (Figura 32). Das oito classes consideradas, a que representa o tipo de coberto mais afectado pelo fogo, para ambos os anos em análise, é a classe “Savana arborizada”. Não há dados do produto de coberto de solo do sensor MODIS disponíveis para o ano de 1986 que permitam a mesma análise.

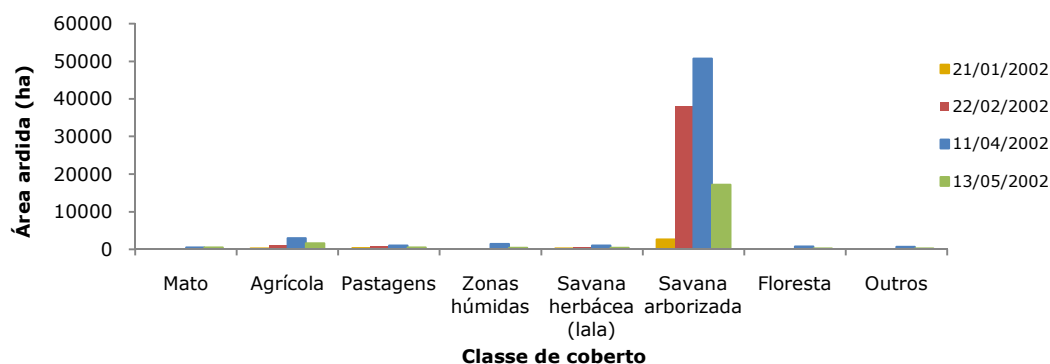


Figura 31. Área ardida (imagem Landsat 204/52) por classe de coberto do solo ao longo da época seca de 2002.

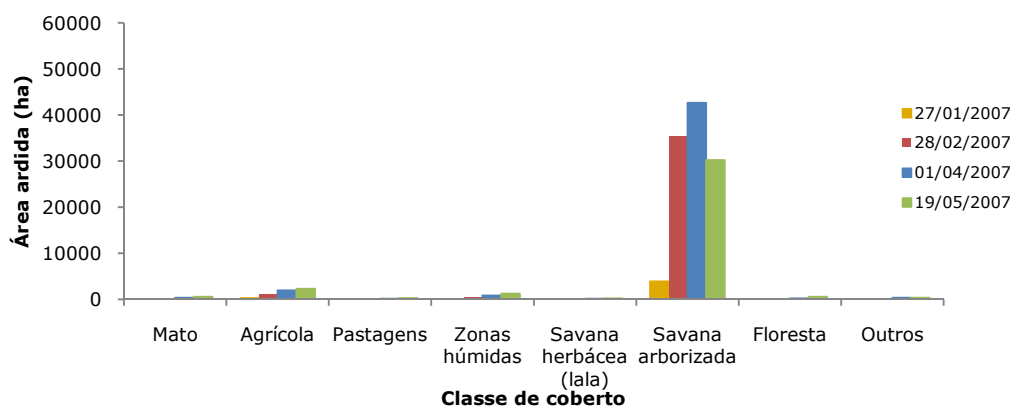


Figura 32. Área ardida (imagem Landsat 204/52) por classe de coberto do solo ao longo da época seca de 2007.

A elevada proporção de área ardida na classe de coberto “Savana arborizada” é ainda mais evidente se comparada com a representatividade desta classe para o total do coberto na área em estudo (Figura 33). A classe “Savana arborizada” é o tipo de coberto mais representativo na área em estudo, seguido pelas zonas húmidas (mangal) e pelas zonas agrícolas. Contudo, é também o tipo de coberto que, de forma bastante evidente, apresenta uma maior proporção de área afectada pelo fogo, mesmo comparativamente à sua representatividade enquanto classe de coberto.

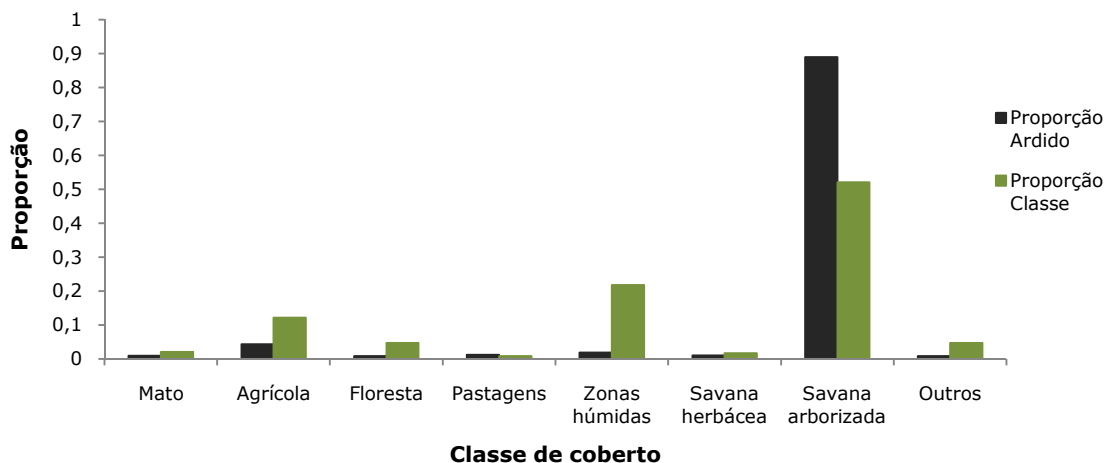


Figura 33. Comparação entre a proporção que a área de cada classe de coberto ocupa e a proporção de área ardida em cada uma delas. Valores médios dos anos 2002 e 2007.

Foram seleccionados dois exemplos como casos de estudo pelo seu distinto comportamento e pela sua representatividade nesta zona da Guiné-Bissau – as regiões de Quínara e Tombali. As cartas dos perímetros de áreas ardidas produzidas para os três anos, com destaque para os dois casos de estudo são apresentadas na Figura 34 (Quínara) e Figura 35 (Tombali).

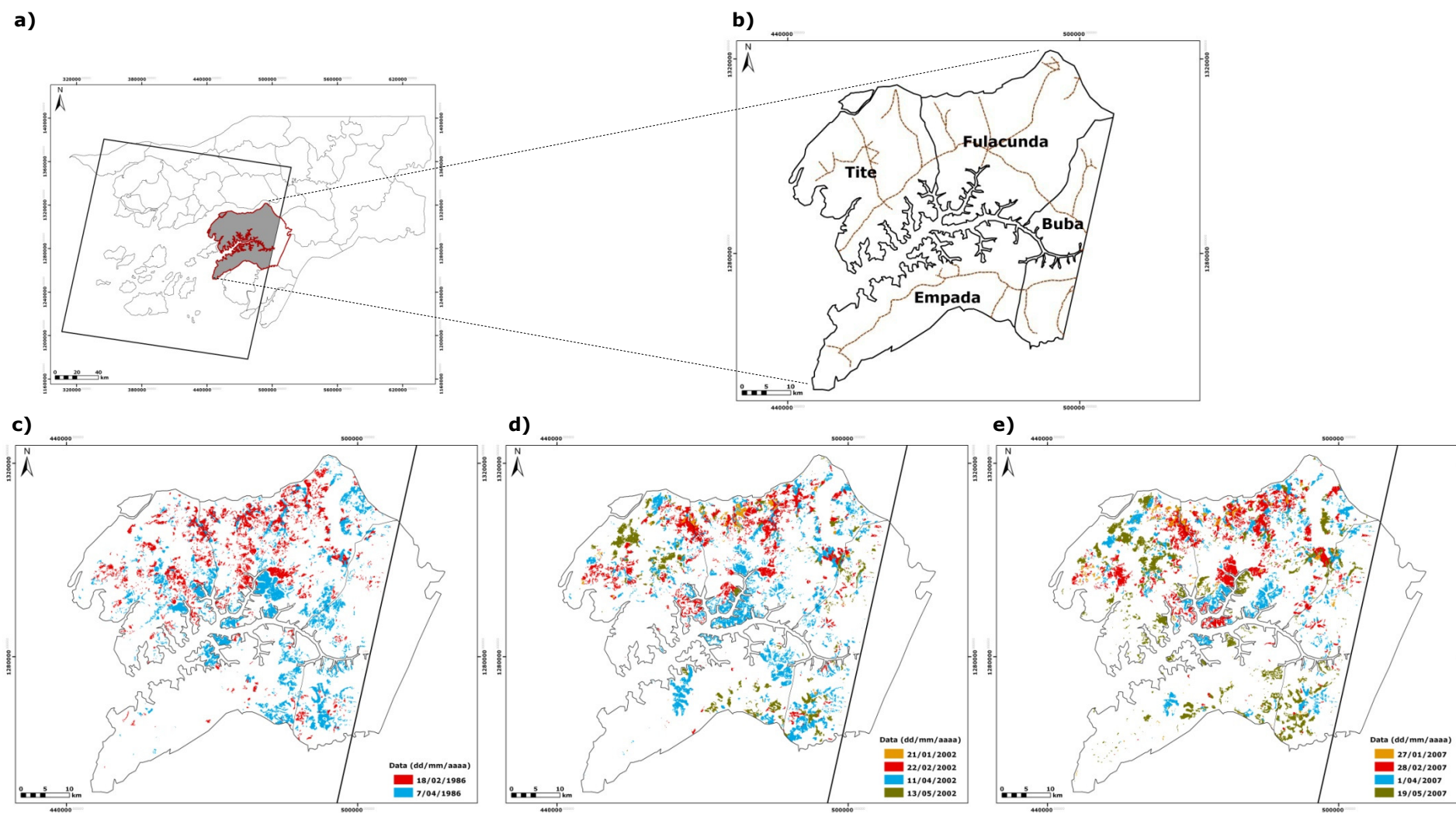


Figura 34. Caso de estudo para a região de Quínara; a) inclusão geral na GB; b) ampliação sobre a região de Quínara, com indicação dos sectores e rede viária; área ardida nas várias datas de c) 1986, d) 2002, e e) 2007.

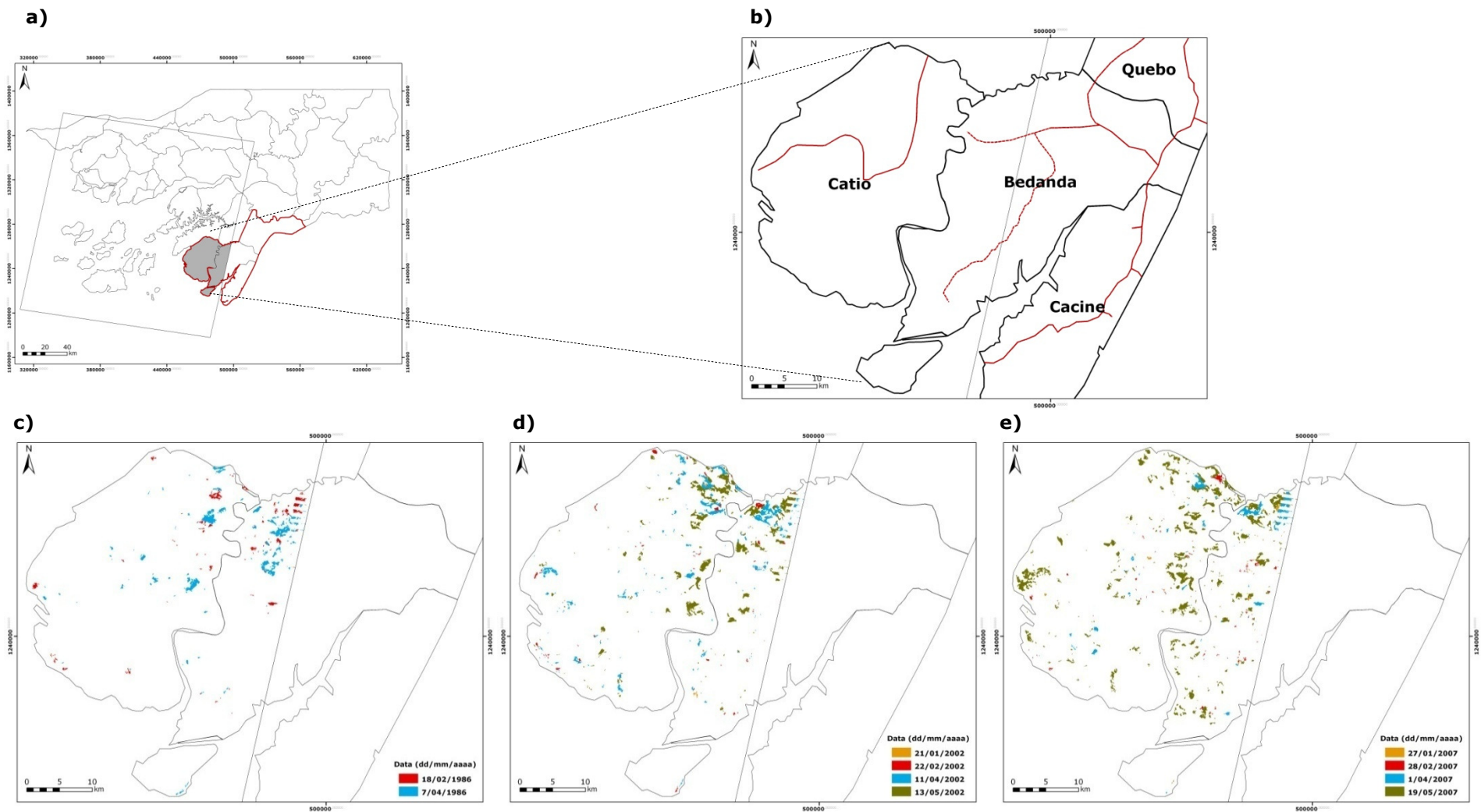


Figura 35. Caso de estudo para a região de Tombali; a) inclusão geral na GB; b) ampliação sobre a região de Tombali, com indicação dos sectores e rede viária; área ardida nas datas de c) 1986, d) 2002, e e) 2007.

Considerando que as imagens Landsat sobre as quais foram cartografadas as áreas ardidas são relativamente próximas temporalmente, foi possível uma comparação aproximada entre a área ardida nos três anos para os sectores da região de Tombali (Figura 36) e Quínara (Figura 37). Note-se que para o ano de 1986 apenas duas das datas foram cartografadas e por isso a análise da evolução temporal da incidência do fogo é possível apenas parcialmente. Note-se ainda que a área ardida nas duas regiões é apresentada com diferente escala nas figuras, para melhor observar a tendência entre sectores da mesma região. Em termos absolutos a região de Quínara apresenta valores globais de área ardida muito superiores à região de Tombali. Não obstante esta diferença entre área ardida absoluta entre as duas regiões, uma análise da sazonalidade do fogo por sectores em cada uma destas regiões permite identificar algumas tendências. Em Tombali (Figura 36) observa-se, ao longo dos anos em análise, uma diminuição na área ardida no início da época seca, mas um aumento inter-anual da área ardida no final da época seca (Maio). Relativamente à região de Quínara (Figura 37), observa-se um total de área ardida superior, mas uma mesma tendência temporal, com diminuição inter-anual da área ardida no início da época seca e um aumento muito evidente da área ardida, entre os dois anos registado, no mês de Maio.

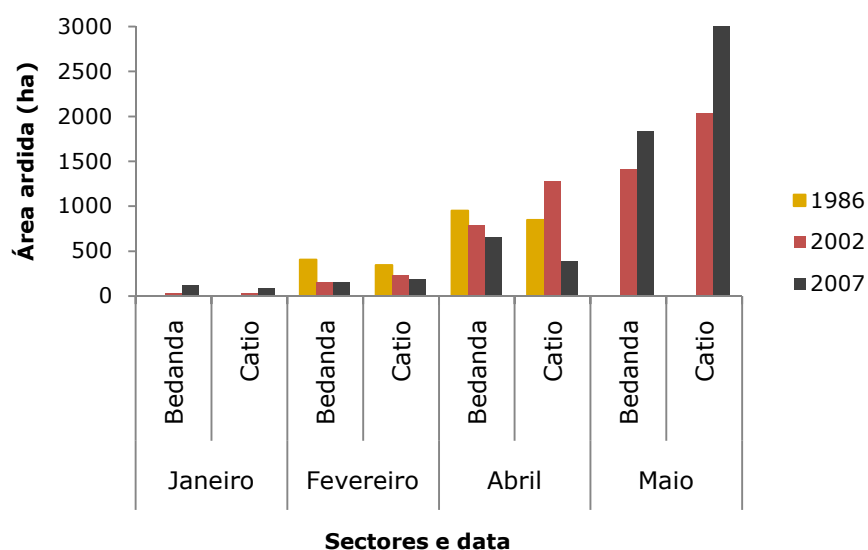


Figura 36. Evolução temporal (mensal e anual) de área ardida, nos vários sectores da região de Tombali.

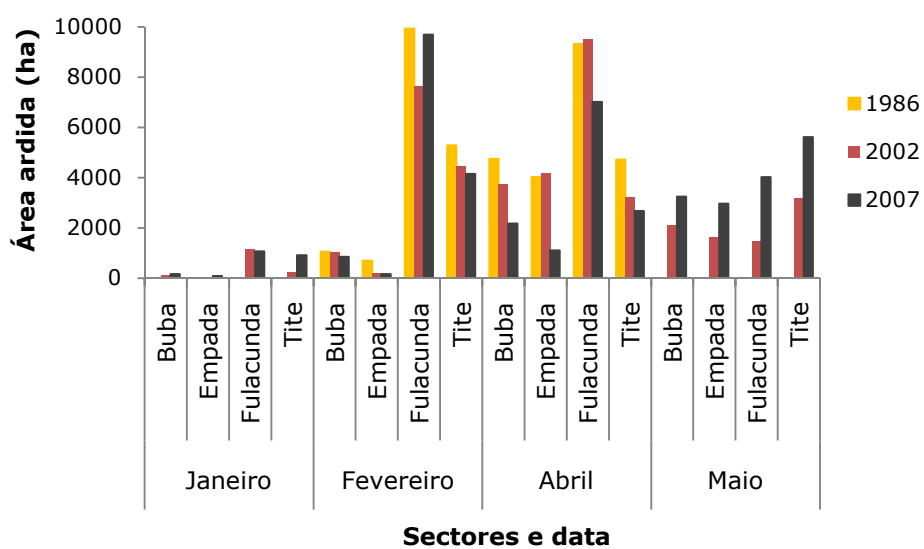


Figura 37. Evolução temporal (mensal e anual) de área ardida, nos vários sectores da região de Quínara.

6. DISCUSSÃO

6.1. ALGUNS PARAMETROS DO REGIME DO FOGO

Uma análise ao regime do fogo que considere todo o território da Guiné-Bissau foi essencial para a interpretação da influência dos vários factores - climáticos, de vegetação e antropogénicos - na ocorrência do fogo. Antes da sua discussão é importante salientar que a curta série temporal utilizada na determinação da recorrência do fogo é uma limitação óbvia, já que a amostra utilizada poderá não ser suficiente para representar correctamente o regime do fogo na Guiné-Bissau. Contudo, embora os dados utilizados tenham uma resolução espacial demasiadamente grosseira para uma interpretação da ocorrência do fogo que, muitas vezes, depende de factores muito locais, a uma escala micro, grandes padrões e tendências são facilmente identificáveis.

De acordo com o método do PRF, o intervalo de tempo médio entre fogos na GB é de 21 anos, i.e., são necessários 21 anos para arder uma área equivalente à totalidade da GB (Quadro 6). Esse valor, quando comparado com outros países, nomeadamente o nosso, é muito baixo e indica uma elevada incidência do fogo, com uma grande extensão de área ardida. A área ardida anualmente no país é equivalente em média a 4,9% da sua área. Apesar de não ter sido possível aferir qual a sua causa, observa-se um acentuado decréscimo no ano 2004 (Quadro 6), determinado por Bafatá, Gabu e Oio (Figura 17). Nas restantes regiões do país não se observa este decréscimo. Embora esta serie temporal seja muito curta para interpretar grandes tendências, é possível identificar a importância do efeito do caju. Após a guerra (1999), principalmente devido à insegurança alimentar que esta gerou, e a um conjunto de factores sociais que contribuíram para a diminuição da mão-de-obra, houve uma adesão generalizada à plantação do caju com conversão do sistema de produção itinerante em permanente, e, conseqüente, uma diminuição das queimadas descontroladas. Em Oio e Bafatá, essa tendência de conversão de sistemas de produção, traduzida pela redução da área ardida, é evidente. Em Cacheu nunca houve registo de grandes queimadas e por isso esta tendência não se observa. Em Quínara e Tombali, também com grande adesão ao caju, observa-se um retorno às queimadas típicas do sistema de produção de agricultura itinerante nos anos 2005 e 2006 (Figura 17), que poderá ser explicada pelo baixo preço a que os agricultores conseguiram vender a sua produção de caju e ao aumento do preço do arroz importado nesses anos. A Guiné-Bissau é altamente deficitária nas infra-estruturas necessárias para escoar a sua produção, e as próprias práticas agrícolas também se apresentam ineficazes, com muita da produção de arroz a ser praticada em sistema de sequeiro, o que torna a segurança alimentar altamente dependente de factores externos como as condições meteorológicas e os preços de mercado (Integrated

Regional Information Networks, IRIN, 2007). Esta dependência de factores externos manifesta-se através de uma variabilidade na área ardida anualmente, mais ou menos evidentemente, de acordo com a região e sector em análise e todas as demais variáveis (e.g., climáticas, geográficas, culturais).

Gabu, Bafatá e Oio, por esta mesma ordem, são as regiões que, em termos médios, registam mais área ardida (Figura 16). Os mais baixos valores de PRF registaram-se, em ordem crescente, nas regiões de Bafatá, Gabu e Oio que apresentam, por ordem decrescente, os maiores valores de percentagem anual de área ardida (Quadro 6). Estes valores são surpreendentes quando se relacionam com a elevada dimensão destas regiões, e indicam que, de facto, a área ardida nestas regiões é mesmo muito elevada. Os valores de IR (Quadro 7) são bons indicadores de que o fogo não é um fenómeno aleatório, e que toda uma conjuntura de vários factores favorece a sua ocorrência. Esta ocorrência do fogo está intrinsecamente associada a uma influência antropogénica e ao uso do solo nos sistemas de produção associados a cada uma das etnias dominantes em cada região, assim como às condições climáticas e à flora característica da região. Gabu, Bafatá e grande parte de Oio pertencem à zona fitogeográfica de Leste, a mais seca e árida, dominada por floresta aberta e savana arborizada, cuja densidade e porte se reduz consideravelmente no sentido sudeste, em direcção ao sector do Boé (Gabu). É a zona mais homogénea do país do ponto de vista agro-ecológico e étnico, com predominância de criação de gado e agricultura de sequeiro. Além do factor climático (menor precipitação) e de ocupação de solo (dominância de savana e floresta aberta), já por si estimulantes à ocorrência do fogo, a baixa densidade populacional destas regiões (Figura 24) e a sua ocupação pelas etnias Fula (Gabu e Bafatá) e Mandinga (em grande parte de Oio), acentuam ainda mais a disparidade dos valores de área ardida para as restantes regiões. Fulas e Mandingas são caracterizados por uma agricultura mais atrasada, muito itinerante, recorrendo ao sistema de corte e queima, e estão intimamente ligados a uma pastorícia arcaica com recurso a queimadas voluntariamente descontroladas e destruidoras.

O PRF e a percentagem anual de área ardida na região de Quínara e de Cacheu (Quadro 6, Figura 18 e Figura 19), bem como a IR média destas regiões (Quadro 7), são também interessantes de referir, por serem as únicas que, não pertencendo à zona fitogeográfica de Leste, apresentam ainda assim valores não desprezáveis. Em Quínara, o factor cultural – etnia dominante – tem aqui um peso considerável. É predominantemente habitada por Balantas e Beafadas, cujas queimadas nos campos agrícolas podem ser descontroladas com o objectivo simultâneo da caça. Além deste factor cultural, também o tipo de vegetação – com uma grande extensão de savana – e a baixa densidade populacional, justificam a elevada densidade do fogo, devida, principalmente, a queimadas para rebentamento de palha de cobrir as casas e caça, em savana herbácea e

na floresta e savana arborizada respectivamente. Contudo, note-se também que a IR desta região é inferior a um, indicando que a proporção de área ardida é inferior à sua representatividade no país, o que se compreende pela sua localização geográfica mais favorável, e por ter sido pioneira na introdução do caju. A reconversão do coberto em cajueirais reduz drasticamente a área de floresta sujeita anualmente a corte e queima. Os testemunhos recolhidos por Temudo (com. pess., 2010) apontam para o fim das queimadas agrícolas descontroladas, sendo utilizadas técnicas de contra-fogo ou fogo em círculo, abertura de pára-fogos, alteração da hora da queimada (tradicionalmente realizadas à hora de maior calor, entre as 13h e as 15h) e para alturas com menos vento, e organização da queimada com maior número de pessoas. O mesmo sucede em Cacheu, com uma percentagem anual de área ardida (Figura 19) e PRF (Figura 18) semelhantes a Quínara. Contudo, diverge consideravelmente nos maiores valores de densidade populacional e numa muito inferior densidade de fogo (Figura 24). A IR do fogo nesta região é também bastante inferior, o que indica uma ainda menor preferência do fogo quando comparada com as regiões Leste do país. Situado na zona fitogeográfica Noroeste, também aqui se regista uma recente expansão das áreas destinadas à plantação de caju, com consequente redução da área de floresta afectada pelo corte e queima. As etnias dominantes são Balanta, Manjaco e Felupe que, com práticas proteccionistas dos recentes pomares de caju, promovem o confinamento das queimadas agrícolas aos campos a cultivar. Apesar de controlarem razoavelmente o fogo, é de referir que os Manjacos ainda queimam a savana herbácea para o gado e palha. O aumento das queimadas devido à cultura em sistema de sequeiro é também uma realidade, principalmente devido à diminuição da precipitação que conduz à salinização das bolanhas, e à falta de mão-de-obra para este sistema de produção.

As restantes regiões da Guiné-Bissau, Biombo, Bissau, Bolama e Tombali apresentam, todas elas, valores muito baixos de IR e percentagem anual de área ardida e, consequentemente, elevados PRF. Um PRF tão elevado como o determinado para as regiões de Biombo e Bissau sugere que não é frequente a ocorrência de incêndios nestas regiões ou que, caso ocorram, são de reduzida dimensão. A densidade de fogos (Figura 24) é muito superior em Tombali e consideravelmente inferior em Biombo e Bissau.

As regiões Biombo e Bissau são densamente povoadas e praticamente sem registo de queimadas. Nestes dois casos, a pressão fundiária resultante da elevada densidade populacional, associada à reconversão do coberto em pomares de caju registada nos últimos anos, apresentam-se como factores que se sobrepõem à etnia dominante – Papel. Após a independência muitos diques não foram reparados e, a partir dos anos '80, os agricultores orientaram-se para a produção de caju.

A etnia *Nalú*, não tendo sido referida no capítulo dedicado à caracterização da área de estudo, tem relevância quando se propõe analisar a região de Tombali, da qual são os “donos do chão”. Este grupo é caracterizado por uma gestão sustentável dos recursos naturais do ponto de vista ambiental e por uma grande preocupação em evitar queimadas descontroladas, não recorrendo, inclusivamente, ao fogo na colheita do mel selvagem. Este factor, associado a uma localização geográfica mais favorável, assim como à existência das maiores manchas de floresta densa do país, e à introdução progressiva do caju, justifica o elevado PRF, baixa percentagem de área ardida e IR do fogo. Esta região, contudo, apresenta uma elevada densidade de fogos que, embora seja de difícil interpretação quando a análise é feita a esta escala regional, é possível afirmar com base na análise posterior, que se deverá sobretudo à sua ocorrência no sector Quebo. Culturalmente (predominância da etnia Fula) e em termos de vegetação (maior extensão de savana) Quebo assemelha-se muito mais às zonas de leste.

Existem algumas diferenças entre a área ardida em cada região, discutida até ao momento, e os seus valores de densidade de fogos. A Figura 38 relaciona estes dois conjuntos de dados – densidade de fogos e percentagem anual de área ardida por região.

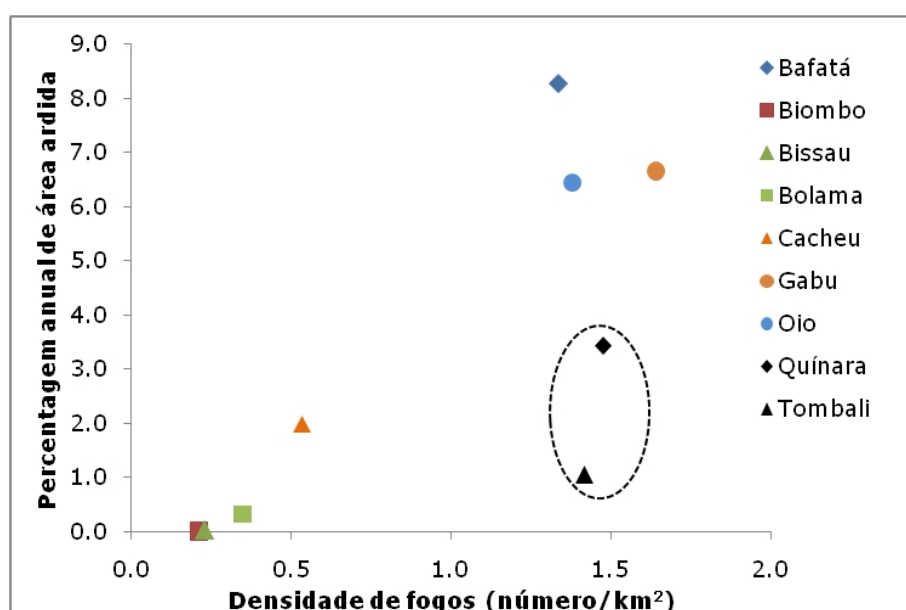


Figura 38. Relação entre percentagem anual de área ardida e densidade de fogos por região com destaque para as regiões de Quínara e Tombali.

Tombali é, assim como Quínara, um sector com grande diferença entre área ardida e densidade de fogos. Estas duas regiões apresentam um valor tão elevado de densidade de fogos que seria de esperar uma percentagem anual de área ardida superior à estimada, uma percentagem de área ardida mais aproximada à das restantes regiões do Leste do país – Bafatá, Gabu e Oio. As restantes regiões apresentam um comportamento semelhante, i.e., densidade de fogos directamente proporcional à percentagem de área

ardida. Verificam-se assim três grupos distintos, as regiões de Leste com maior área ardida e maior densidade de fogos e, em oposição, as regiões do Norte com valores muito baixos tanto de densidade de fogos como de percentagem de área ardida. O facto de haver este terceiro grupo, composto por Quínara e Tombali, em que uma elevada densidade de fogos corresponde a uma menor área ardida, sugere que, tal como tem sido descrito, o fogo não é um fenómeno aleatório e depende de um conjunto de variáveis que determinam a sua ocorrência. Neste caso concreto, a fitogeografia do local e a componente cultural.

Tanto Bafatá como Oio, apesar da sua mais elevada percentagem de área ardida, apresentam uma densidade de fogos inferior à de Quínara e Tombali (Figura 24), o que sugere que a extensa área ardida destes dois sectores se deve a um menor número de fogos, mas mais extensos. O factor densidade populacional parece ter, nestas regiões do Sul e Leste, alguma influência na ocorrência de fogo que é mais evidente na densidade de fogos que na percentagem de área ardida. De facto, apesar da maior extensão de área ardida das regiões Bafatá e Oio, a densidade populacional é inferior em Quínara e Tombali, com uma consequente maior densidade de fogos nestas duas regiões. A Figura 39 apresenta esta relação, expressa pela razão entre estas densidades, através do número de habitantes por ocorrência de fogo, com uma similaridade muito evidente entre Gabu e Quínara - ambas com muito baixa densidade populacional e elevada densidade de fogos.

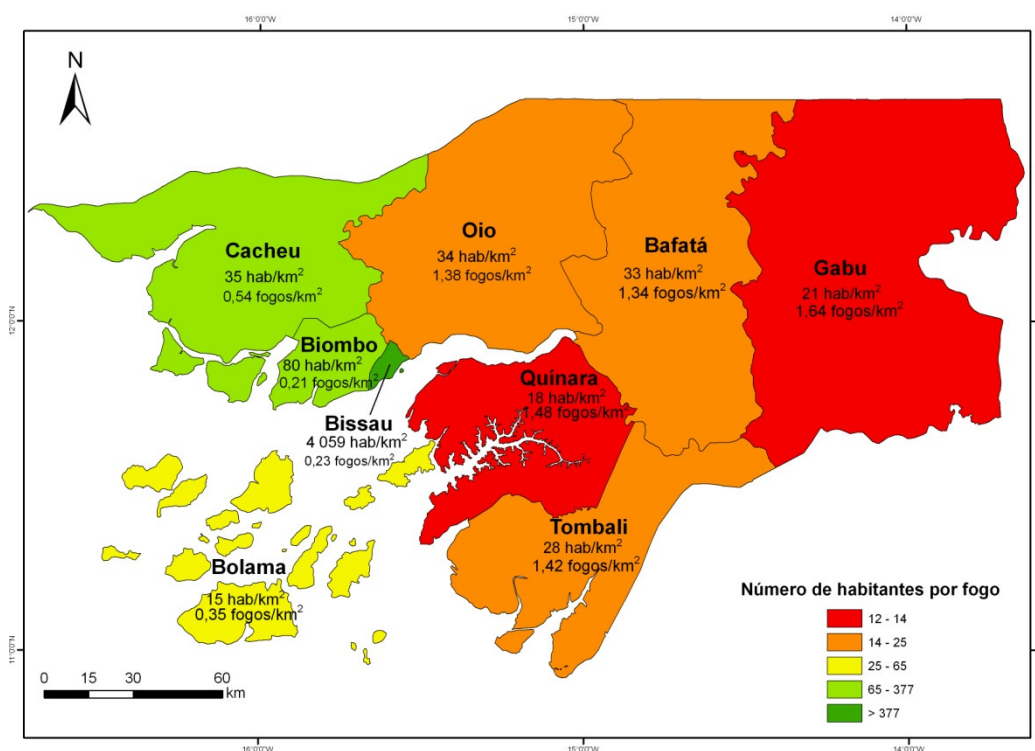


Figura 39. Número de habitantes por fogo em cada região da Guiné-Bissau; relação entre a densidade populacional e densidade de fogos em cada uma das regiões.

Claro que o factor densidade populacional não é determinante por si só. Embora Gabu ilustre bem esta relação na globalidade, esta questão é bem mais complexa e o facto de esta análise ser feita a uma escala tão grosseira poderá estar na origem de um enviesamento dos resultados. Alguns destes dados apresentados não são de fácil interpretação e um dos factores que pode dificultar a tarefa é a resolução espacial e temporal da análise. Em estudos que incidam sobre a distribuição espacial do fogo e a observação nas suas tendências de mudança, essa resolução, tanto espacial como temporal, deverá ter a mesma magnitude que os factores motrizes na sua génese (Nielsen, 1999). Alguns dos factores determinantes do uso do fogo só são evidentes a uma escala mais micro. Além disso, alguns eventos chave ocorridos no país, mesmo políticos e económicos, ocorreram antes do período em análise e a variação ocorrida não é suficientemente evidente, nomeadamente em regiões pioneiras na introdução do caju.

6.2. SAZONALIDADE

Os dados do produto de fogos activos do sensor MODIS utilizados neste estudo são de grande utilidade na identificação de comportamentos do fogo e compreensão do seu uso. A ocorrência de fogos na Guiné-Bissau (Figura 20 e Figura 21) apresenta o mesmo padrão característico das savanas desta região da África Ocidental: dois picos de ocorrência bem distintos, um no início da época seca (Janeiro e Fevereiro) e outro no final da época (Maio). Os primeiros são geralmente mais descontrolados e de maior extensão, e correspondem aos fogos descontrolados associados à caça, à promoção da regeneração do coberto para o gado ou ao rebentamento de palha de cobrir as casas. Os fogos do final da época seca estão associados a práticas agrícolas e ocorrem mesmo antes do início das chuvas, como forma de fertilização dos solos. Geralmente são confinados à área a agricultar, excepto quando o seu controle não é possível devido à acção do vento. Apesar da existência deste padrão para a generalidade do país, a verdade é que o factor antropogénico exerce uma grande influência no registo de ocorrência do fogo, através da atitude que cada etnia tem em relação ao fogo. Assim, este comportamento característico apresenta-se variável de região para região e mesmo dentro da mesma região, a uma escala muito mais local. O exemplo mais extremo é evidenciado com a comparação entre as regiões de Gabu e Tombali (Figura 22). Em Gabu, zona mais leste do país, mais árido e dominado por grandes extensões de savana, os Fulas praticam uma agricultura itinerante, queimadas arbustivas descontroladas e pastoreio extensivo. Pelo contrario, Tombali é uma região mais húmida, com grandes manchas de floresta, e dominada pela etnia Nalú. Esta região é a única em que praticamente todos os fogos ocorrem em Maio. Os Nalús, muito conscienciosos ambientalmente, nunca recorrem a queimadas descontroladas e apenas usam o fogo

agrícola para fertilizar o solo – o pico de ocorrência do fogo está muito mais confinado no tempo, as queimadas ocorrem imediatamente antes das chuvas. Interessante também é o facto de, mesmo na região de Tombali, com um pico de ocorrências muito localizado em Maio, ser possível identificar uma tão grande diferença entre sectores – Quebo e Bedanda servem de exemplo (Figura 23). Bedanda, com predominância da etnia Nalú, dominada pelos grandes maciços florestais do Cantanhez apresenta uma reduzida ocorrência de fogos, sempre circunscritos a um curto período de tempo (logo antes das chuvas). Quebo é, pelo contrário, assemelha-se muito mais às zonas de leste, quer culturalmente (predominância da etnia Fula), quer em termos de vegetação (maior extensão de savana).

Já foi referido anteriormente que, na série temporal de ocorrência de fogos apresentada para a Guiné-Bissau (Figura 20), o número de ocorrências nos dois primeiros anos em análise (2001 e 2002) é muito inferior ao dos anos subsequentes, sobretudo no pico de ocorrências correspondente ao final da época seca. Este facto deve-se à existência de apenas um satélite (MODIS-Terra) a recolher informação nestes dois anos. Só com o sensor MODIS-Aqua, colocado em órbita em Maio de 2002, é que se passaram a detectar os fogos que estão activos aproximadamente às 14h40 locais. A Guiné-Bissau apresenta um ciclo de ocorrência de fogos diário, com pouca actividade de manhã e com um aumento dessa actividade na parte da tarde (Earth Observatory, 2009). Os registos obtidos pelos dois sensores determinam um excepcional aumento nos fogos detectados pelo sensor MODIS-Aqua, apenas no curto intervalo de passagem entre os dois satélites. Este aumento significativo no número de fogos detectados por este sensor justifica-se com o referido ciclo diário das queimadas agrícolas no país. As queimadas nos campos agrícolas são, tradicionalmente, realizadas à hora de maior calor, entre as 13h e as 15h, com vento forte de direcção certa e o fogo ateado no sentido do vento para que não fiquem zonas do campo por queimar. A incompleta combustão do material lenhoso obriga o agricultor a abandonar uma parte do campo ou a um grande acréscimo de trabalho para fraccionar os troncos incompletamente queimados, realizando uma segunda queimada (M. Temudo, com. pess., 2010). Em oposição, o uso do fogo para a caça, quando utilizado pela população autóctone, é ateado durante a noite ou de manhã cedo (horas de menor temperatura). Sabendo que a sazonalidade de ocorrência do fogo é marcada por dois picos de ocorrência, queimadas não agrícolas no início da época seca e queimadas agrícolas no final da época, com as queimadas agrícolas a realizarem-se tradicionalmente entre as 13h e 15h, compreende-se que este segundo pico de ocorrência seja ainda menos marcado nos dois primeiros anos da série temporal apresentada. Contudo, observa-se também que, embora quantitativamente haja uma diferença considerável entre os anos - plenamente justificada -, o padrão temporal de

ocorrência do fogo se mantém, com dois períodos, embora muito menos distintos, de ocorrência de fogos no início e no final da estação seca.

A média das ocorrências de fogos nos anos em análise permite definir uma quantidade aproximada de fogos abrangidos na análise das imagens Landsat seleccionadas e determinar o que se perde nesta análise. Considerando que o ano de 1986 foi representado por apenas duas imagens, enquanto os anos subsequentes (2002 e 2007) foram caracterizados com recurso a quatro imagens, com melhor distribuição ao longo da época seca, os resultados do total de área ardida obtidos não são comparáveis entre si. Poderia ultrapassar-se esta limitação de falta de dados, e comparar os resultados obtidos para os três anos em análise, através de um cálculo aproximado do valor de área ardida no final da época seca para o ano de 1986, com recurso à informação da percentagem cumulativa de contagem de fogos activos determinada anteriormente (Figura 21). As duas variáveis cumulativas, percentagem cumulativa de número de fogos activos e valor absoluto cumulativo de área ardida para cada ano em análise (Quadro 12), permitiriam estimar o valor de área ardida correspondente a 91% do número de fogos ocorridos. Apesar deste método permitir concluir, sem qualquer intervalo de confiança associado, que houve uma tendência de decréscimo na área ardida ao longo dos anos analisados, ele tem demasiadas fragilidades associadas, e.g., a amostra de dez observações usada para estimar a recta de regressão é muito reduzida, não permite assumir a normalidade do erro e, consequentemente, as estatísticas comumente utilizadas para o cálculo dos intervalos de confiança para os estimadores. Ainda que idealmente se pudesse aplicar uma regressão múltipla que incluísse os factores mencionados como variáveis explicativas para controlar esses efeitos sobre a área ardida, tal processo está para além do objectivo deste trabalho.

Quadro 12. Percentagem cumulativa de contagens de fogos coincidente com a data de cada imagem; área total (ha) ardida em cada data; área total ardida cumulativa (ha) por ano em análise

Data	Área ardida (ha)	% cumulativa de contagens de fogos activos	Área ardida cumulativa (ha)
21-Jan-02	3371	13	3371
22-Fev-02	41988,1	39	45359,1
11-Abr-02	47248,5	69	92607,6
13-Mai-02	21005,9	85	113613,5
27-Jan-07	4517,1	17	4517,1
28-Fev-07	37973,9	45	42491
01-Abr-07	36955,5	66	79446,5
19-Mai-07	35955,5	91	115402
18-Fev-86	39580,8	35	39580,8
07-Abr-86	55355,1	68	94935,9

6.3. CARTOGRAFIA DAS ÁREAS ARDIDAS

A detecção das alterações no coberto, utilizada como auxílio visual na definição das áreas de treino, revelou-se útil e permitiu evitar erros de classificação de objectos estáticos, como massas de água permanentes e vegetação espectralmente semelhante, que não sofrem alterações entre as duas imagens. Este método de análise multitemporal permitiu, ao mesmo tempo, realçar as áreas queimadas. O facto do número de *pixels* de treino seleccionados para a classe “Não Ardido” ter uma proporção inferior à da representatividade e heterogeneidade da classe (Quadro 5), não afectou o rigor da classificação. Apesar desta classe ser muito heterogénea, os tipos de coberto eram bastante distintos espectralmente e o tipo de coberto que poderia ser de distinção mais problemática – savana – é tão homogénea espectralmente que não foram necessários muitos *pixels* para ficar descrita. A separabilidade espectral, medida pela distância de JM, é boa (Quadro 8), e a comparação entre o resultado da aplicação do classificador e a cartografia resultante da edição manual também apresentou bons resultados (Quadro 9). Os erros existentes após a classificação, e determinados por comparação com a cartografia resultante da edição manual, foram sobretudo observados nas imagens de início da época seca, quando há um total de área ardida registada inferior e a recuperação do sinal pré fogo, devido à ainda existência de humidade no ar e solo das chuvas, é mais rápido.

6.4. CASOS DE ESTUDO

A produção dos dez mapas com os perímetros de áreas ardidas permitiu construir uma base de dados cartográfica das áreas ardidas de resolução espacial mais completa e com um horizonte temporal mais amplo. Com estes dados, é possível uma melhor observação das tendências de mudança na distribuição espacial e, simultaneamente, uma maior garantia da interpretação feita relativamente aos factores antropogénicos associados. Em termos gerais, estes resultados permitem confirmar os padrões registados à escala regional discutidos anteriormente.

Com excepção dos sectores Bissau, Prabís e Safim da região Biombo e do sector S. Domingos, todos os outros sectores registaram um aumento, de 2002 para 2007, da área ardida nas imagens de Maio cartografadas (Quadro 11). Contudo, em termos globais, a área ardida cartografada nos dois anos tem valor praticamente idêntico porque, muito embora haja um aumento na área ardida no final da época seca, é também evidente o seu decréscimo nos três mapas produzidos com imagens anteriores a Maio. Este acentuado decréscimo na área ardida do início da época seca, de 1986 para 2002 e de 2002 para 2007, é dominante, observado em praticamente todos os sectores,

e coincide com a adesão ao caju por parte destes sectores. Com esta conversão de sistemas tradicionais de produção de culturas alimentares de sequeiro em pomares de caju, observa-se a eliminação da prática de queimadas descontroladas no início da época seca, como forma de protecção dos próprios pomares. Muitos destes sectores registam também um considerável aumento da área ardida em Maio de 2007, que poderá resultar da diminuição do preço do caju e elevado preço do arroz importado (Integrated Regional Information Networks, IRIN, 2007). As Figuras 28, 29, 30 e 36 confirmam que a região de Tombali regista a grande parte da área ardida na imagem cartografada em Maio. Também os sectores da região Quínara apresentam um maior registo da área ardida nas imagens de Maio de 2007 (Figura 30, Figura 37). Ambas as regiões, Quínara (Figura 37) e Tombali (Figura 36), registam em todos os seus sectores um aumento considerável, entre 2002 e 2007, na área ardida cartografada nos meses de Maio. Este aumento de área ardida no final da época seca permite, mais uma vez, deduzir que o país apresenta uma infra-estrutura deficitária e uma enorme dependência de factores externos que resulta numa variabilidade do sistema agrícola guineense face às oscilações nos preços de mercado dos bens, nomeadamente caju e arroz, e que se traduz no retorno à prática de agricultura em sistemas de sequeiro, com recurso à queimada.

A compreensão da relação entre os factores determinantes da ocorrência do fogo ganhará sempre muito com a maior disponibilidade de dados sobre os padrões espaciais e temporais de incidência do fogo. Os mapas produzidos permitem uma análise a nível dos sectores que, por vezes, apresentam características muito distintas dentro da mesma região. As regiões de Quínara e Tombali foram usadas como casos de estudo para evidenciar esta variabilidade intra-regional. Observa-se em Bedanda, na região de Tombali, uma alteração no padrão das áreas ardidas entre os anos 2002 e 2007 (Figura 22), com uma diminuição da área ardida no início da época seca e aumento no final registado entre 2002 e 2007. É neste sector que se concentram as florestas mais densas do país (Cassamá, 2006), evidenciando, por isso, um total de área ardida inferior. Cassamá (2006) no seu estudo de alteração no coberto do solo sobre esta península registou, após 1985, uma grande ocorrência de desbastes, mais evidente na zona nordeste, decorrente da instalação de pomares (Temudo, 2009) e junto às aldeias e estradas. Como foi referido anteriormente, Tombali, com as suas grandes manchas de floresta e sendo dominada pela etnia Nalú, é a única região do país onde a quase totalidade dos fogos agrícolas e não agrícolas ocorre em Maio (Figura 22, Quadro 11), dado que mesmo os fogos nas savanas herbáceas e concentram neste mês (M. Temudo, com. pess. 2010). No outro caso de estudo temos o sector de Buba, em Quínara. Embora não seja evidente na Figura 27, houve com uma alteração no padrão do fogo, com uma diminuição da área ardida no início da época seca e aumento da área ardida no final da época seca (Quadro 11, Figura 37). Esta diminuição da área ardida poderá ser

parcialmente explicada pela introdução e forte implementação do caju como produto de elevado valor económico, que se reflecte na diminuição das queimadas descontroladas (Quadro 11). Com os métodos de protecção dos pomares adoptados, esse descontrolo do fogo não se observa, o que implica uma diminuição em termos absolutos da área ardida. De acordo com o comportamento evidenciado nos sectores sob as mesmas condições, um registo de maior área ardida na imagem de Maio de 2007 reflecte, mais uma vez, a diminuição do preço do caju e, consequentemente, a instabilidade alimentar, que se traduz num aumento das queimadas de agricultura em sistema de sequeiro.

O cálculo da incidência da área ardida por tipo de coberto do solo para os anos 2002 (Figura 31) e 2007 (Figura 32) permitiu evidenciar uma grande extensão de savana afectada pelo fogo, à semelhança do registado em muitos outros países vizinhos. Contudo, o produto utilizado (sensor MODIS) é muito grosseiro, quando comparado com o detalhe de cartografia que se obteve com a classificação de áreas ardidas sobre imagens Landsat. Para uma melhor utilização destes mapas produzidos justifica-se a sua intersecção com mapas de coberto mais detalhados, em última análise, com as cartas geográficas produzidas à escala 1:50 000 (1953). O factor distância temporal é uma limitação evidente, mas, mesmo assim, a cartografia produzida permite identificar situações muito evidentes áreas ardidas em lalas, adjacentes ao mangal, quando sobrepostas a estas cartas.

Na Figura 40 mostra-se um exemplo, na mesma região de Quínara mas no sector de Empada, da reconversão do sistema de produção em sequeiro, de forma a garantir a subsistência alimentar da população. O exemplo apresentado é bem ilustrativo desta reconversão dos sistemas de produção, traduzido por variações anuais na área ardida, resultantes das flutuações no preço do caju, neste caso, um aumento na área ardida em 2007. A azul está representada a área ardida em Maio de 2002 e a vermelho em Maio de 2007. Note-se a reduzida dimensão das manchas de área ardida, típicas de queimadas agrícolas, e algumas manchas mais extensas, resultantes das queimadas agrícolas em sistema de sequeiro, com objectivo simultâneo da caça, comumente praticada pelos Beafadas. A possibilidade de cartografar as áreas de caju permitiria perceber se, de facto, estas queimadas mais descontroladas são praticadas longe dos povoamentos de caju. Uma secção adjacente à ilustrada é apresentada na Figura 41, desta vez com maior incidência sobre Catió, na região de Tombali. Este exemplo é também bem ilustrativo, quer do aumento de área ardida no final da época seca entre 2002 (representado a preto) e 2007 (representado a vermelho), quer da dominância da etnia Balanta, evidenciando as queimadas nas zonas de bolanha, para produção de arroz neste sistema que lhes é tão característico. É evidente o regresso à agricultura itinerante registado em 2007, com prática de corte e queima, que se deve a alguns factores locais, como a

destruição dos diques das bolanhas pelas marés vivas e a ocorrência de uma doença nos pomares de bananeira, ocorridos nos últimos quatro anos (Temudo, 2009).

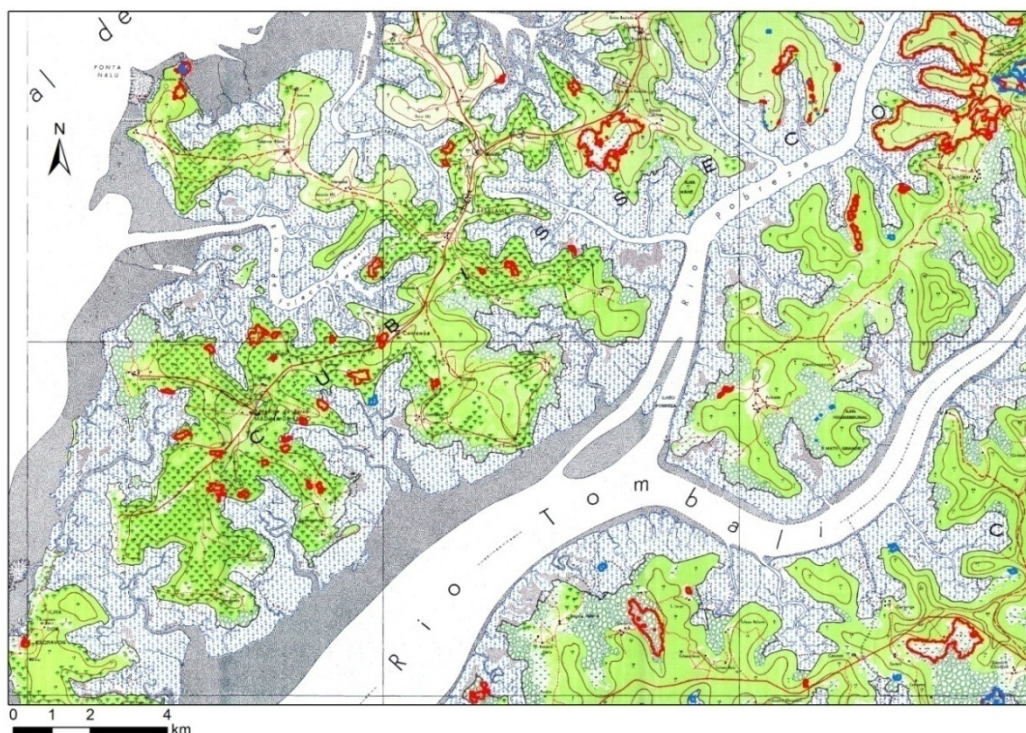


Figura 40. Carta 1:50 000 (1956). Sector de Empada (região de Quínara). Perímetros das áreas ardidas correspondentes às imagens Landsat de 13/05/2002 (azul) e de 19/05/2007 (vermelho).

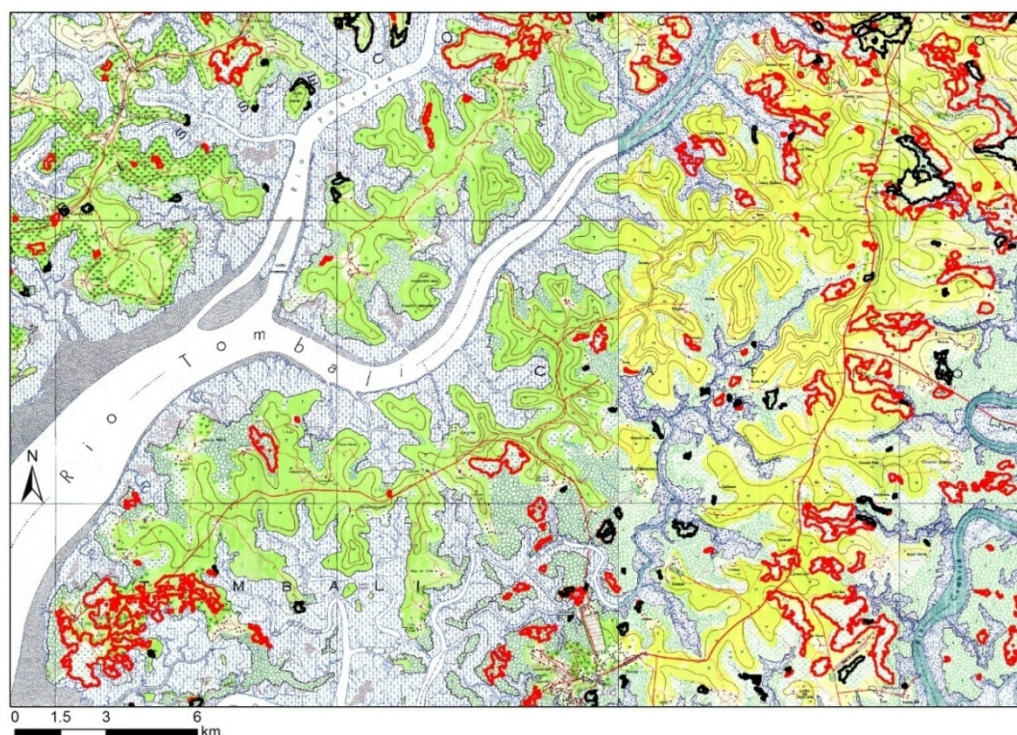


Figura 41. Carta 1:50 000 (1956). Sector de Catió (região de Tombali). Perímetros das áreas ardidas correspondentes à imagem 19/05/2007 (vermelho) e restantes imagens de 2007 (preto).

A Figura 42 serve como auxílio à interpretação livre das figuras discutidas anteriormente.

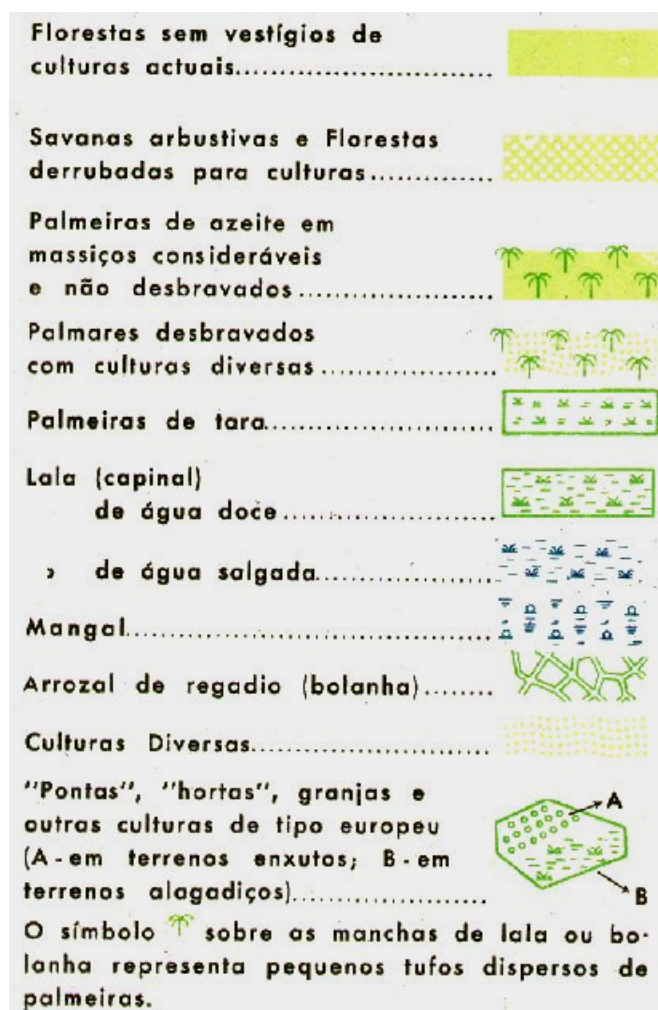


Figura 42. Legenda das classes de coberto das cartas 1:50 000 (1953)

7. CONCLUSÕES

A detecção remota por satélite é a única forma verdadeiramente exequível para a detecção e monitorização de ocorrência de fogo à escala do país proposta neste trabalho. É também o mecanismo mais fiável de construção de um cenário base, com reporte acreditado, que assegure a qualificação da Guiné-Bissau a participar nos MDL.

A utilização de várias imagens numa única época tem enormes vantagens e demonstrou ser fundamental na cartografia de áreas ardidas num país com as características da Guiné-Bissau. Nestas regiões da África Ocidental, que apresentam tipicamente grandes extensões de savana ardida, mas com rápida recuperação do sinal pré-fogo, a cartografia dessas áreas terá sempre de recorrer a várias imagens, com curtos intervalos de tempo entre elas. Uma outra vantagem inerente a uma análise multitemporal prende-se com a selecção das áreas de treino que são usadas pelo classificador. A detecção de alterações no ND na sequência de imagens observadas, nomeadamente por ocorrência de fogo, permitiu uma mais segura e correcta selecção das áreas em cada uma das imagens individualmente. Com este método, é possível evitar erros de classificação de objectos estáticos, como massas de água permanentes e vegetação espectralmente semelhante, que não sofrem alterações entre as duas imagens, o que à partida, considerando a análise de uma única imagem, seria de discriminação bem mais exigente

A utilização de produtos de fogos activos, mais grosseiros espacialmente mas de melhor resolução temporal foi uma mais-valia nesta análise. Foi possível comprovar o padrão registado na bibliografia para os países da África Ocidental, com dois picos de ocorrência evidentes, um no início da época seca e outro no final da época seca, mas também identificar variações regionais e ao nível do sector do país. É evidente que nem todos os sectores apresentam este padrão, porque a sua existência está sobretudo associada às práticas de uso do fogo das diferentes etnias. Uma outra vantagem foi a possibilidade de aferir que a cartografia produzida não contempla todo o horizonte temporal de ocorrência do fogo na época seca. Através dos cálculos efectuados com a percentagem cumulativa de fogos, embora seja um cálculo relativamente empírico, permitiram aferir que com as imagens seleccionadas para a produção destes mapas de área ardida apenas foi cartografada, na melhor das hipóteses, 91% da área ardida anual. Seria, portanto, pertinente adquirir ainda uma outra imagem Landsat, que permitisse completar a cartografia das áreas ardidas em toda a época seca.

O classificador de Máxima Verosimilhança utilizado demonstrou ser muito fiável na classificação das áreas ardidas. As divergências observadas entre as duas classificações, pré e pós edição manual foram poucas: tanto os valores de exactidão global como os do

Índice de concordância kappa são muito elevados, e tanto erros de comissão como de omissão observados são, por sua vez, residuais.

Este estudo vem confirmar a teoria generalizada sobre a importância que os factores antropogénicos têm na ocorrência do fogo em regiões de savana de África Ocidental, e compreender a interacção entre os vários factores que determinam a ocorrência do fogo - climáticos, físicos e antropogénicos - e a sua importância na Guiné-Bissau. Para além desta análise qualitativa, este estudo permitiu também identificar a enorme dependência de factores externos - e.g., preços de mercado do caju e do arroz, condições climáticas - a que o sistema agrícola do país está sujeito. Esta tamanha dependência provoca uma grande variabilidade dos sistemas agrícolas adoptados pelas populações, derivada da instabilidade na segurança alimentar e que, neste caso em estudo concreto, se reflectiu no retorno à prática de agricultura em sistemas de sequeiro, com recurso à queimada.

Uma vez que a análise e interpretação do padrão espacial e temporal de ocorrência do fogo na GB foi feita essencialmente de forma qualitativa, dever-se-ia considerar, no futuro, uma abordagem mais quantitativa, e.g., através da construção e validação de modelos que permitam identificar o sinal e a magnitude da contribuição de variáveis explicativas para a ocorrência do fogo neste país.

A produção da cartografia de áreas ardidas com base em imagens de alta resolução espacial (i.e., Landsat) para os anos de 1986, 2002, e 2007, e a sua consequente disponibilização para a comunidade científica, permitirá ainda a realização de estudos subsequentes, só possíveis com a existência deste tipo de informação. Entre estes, encontram-se os estudos de calibração e validação de produtos de áreas ardidas obtidos com dados de detecção remota de menor resolução espacial, e.g., MODIS, SPOT VEGETATION (Silva et al., 2005).

No contexto actual em que vivemos, com a consciencialização da dimensão que a desflorestação tem na emissão de gases com efeito de estufa, o fogo, enquanto ferramenta de desflorestação e de degradação dos recursos naturais, merece uma maior atenção. Este trabalho pretendeu ser apenas uma primeira abordagem à temática do fogo na GB, país para o qual existe muito pouca informação disponível. No entanto, considera-se essencial estender esta análise mais detalhada, efectuada com as imagens Landsat, ao resto do território, assim como calcular a incidência de área ardida por tipo de coberto do solo recorrendo a produtos mais detalhados que o disponibilizado pelo sensor MODIS e com uma maior fiabilidade, que as cartas 1:50000 de 1953 já não conseguem assegurar.

Muito embora este estudo tenha um óbvio interesse académico, é fundamental explorar esta sua dimensão prática.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agee, J.K. (1993). *Fire Ecology of Pacific Northwest Forests*. Island Press, New Jersey, EUA, 493 p.
- Cabral, A.L. (1954). Queimadas e pousios na circunscrição de Fulacunda em 1953. *Boletim Cultural da Guiné Portuguesa*, 9(35), 627-643.
- Cabral, A., Duarte, O., Patricia, L. (2008). Monitorização das alterações do coberto do solo para a Guiné-Bissau entre 1994 e 2002. *Workshop Internacional sobre Clima e Recursos Naturais nos Países de Língua Portuguesa: Parcerias na Área do Clima e Ambiente*, Cabo Verde, Ilha do Sal, 2-7 Março 2008.
- Cassamá, V.L.S. (2006). Alterações do Coberto do Solo na Mata do Cantanhez (Guiné-Bissau) de 1953 a 2003. Tese de Mestrado em Georrecursos. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal, 111 p.
- Catarino, L.M.F. (2004). Fitogeografia da Guiné-Bissau. Tese de Doutoramento em Engenharia Agronómica. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal, 460 p.
- Chuvieco, E. (2002). *Teledetección Ambiental: La Observación de la Tierra desde el Espacio*. Ariel Ciencia, Barcelona, 586 p.
- CIA (2009). *The World Factbook 2009*. Washington, DC: Central Intelligence Agency. <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/index.html>.
- Costa, C., Resende, M. (1994). *Guiné-Bissau: o Ambiente Agrícola, o Homem e o Uso da Terra*. Clássica Editora, Lisboa, 290 p.
- Earth Observatory (2009). Fires in Guinea-Bissau. NASA (<http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/view.php?id=14914>). Acedido a 26 Abril 2010.
- Eriksen, C. (2007). Why do they burn the 'bush'? Fire, rural livelihoods, and conservation in Zambia. *The Geographical Journal*, 173(3), 242-256.
- Eva, H., Lambin, E.F. (1998). Remote sensing of biomass burning in tropical regions: sampling issues and multisensor approach. *Remote Sensing of Environment*, 64, 292-315.
- FAO (2010). FAOSTAT. (<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>, acedido a 20 Janeiro 2010).
- Friedl, M.A., McIver, D.K., Hodges, J.C.F., Zhang, X.Y., Muchoney, D., Strahler, A.H., Woodcock, C.E., Gopal, S., Schneider, A., Cooper, A., Baccini, A., Gao, F., & Schaaf, C. (2002). Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results. *Remote Sensing of Environment*, 83, 287-302.
- Friedl, M.A., Sulla-Menashe, D., Tan, B., Schneider, A., Ramankutty, N., Sibley, A., Huang, X. (2010). MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets. *Remote Sensing of Environment*, 114, 168-182.
- GADM (2010). Global Administrative Areas. Guinea-Bissau. (http://www.gadm.org/data/shp/GNB_adm.zip, acedido a 10 Janeiro 2010).

- Ganz, D. (2009). Don't Forget the Second "D". The Importance of Including Degradation in a REDD Mechanism. *The Nature Conservancy. Policy Brief*. June 2009.
- Global Canopy Foundation (2008). *The Little REDD+ Book. A Guide to Governmental and Non-Governmental Proposals for Reducing Emissions from Deforestation and Degradation*. Global Canopy Programme, Oxford, UK, 113 p.
- Giglio, L., Descloitres, J., Justice, C.O., Kaufman, Y.J. (2003). An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 87, 273-282.
- Giglio, L. (2007). Characterization of the tropical diurnal fire cycle using VIRS and MODIS observations. *Remote Sensing of Environment*, 108, 407-421.
- Hudson, W.D., Ramm, C.W. (1987). Correct formulation of the kappa coefficient of agreement. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 53(4), 421-422.
- IGE, 2001. *Atlas da Lusofonia. 1º volume: Guiné-Bissau*. Instituto Português da Conjuntura Estratégica e Instituto Geográfico do Exército, Lisboa.
- Jensen, J.R. (2005). *Introductory Digital Image Processing. A Remote Sensing Perspective* (third edition). Prentice Hall, New Jersey, EUA.
- Justice, C., Townshend, J., Vermote, E., Masuoka, E., Wolfe, R.E., Saleous, N., Roy, D.P., Morisette, J.P. (2002). An overview os MODIS land data processing and product status. *Remote Sensing of Environment*, 83, 3-15.
- Justice, C., Giglio, L., Korontzi, S., Owens, J., Morisette, J., Roy, D., Descloitres, J., Alleaume, S., Petitcolin, F., Kaufman, Y. (2006).The MODIS fire products. *Remote Sensing of Environment*, 83, 3-15.
- Kull, C.A. (2002). Madagascar aflame: landscape burning as peasant protest, resistance, or a resource management tool? *Political Geography*, 21(7), 927-953.
- Laris, P. (2002). Burning the Seasonal Mosaic: Preventative Burning Strategies in theWooded Savanna of Southern Mali. *Human Ecology*, 30(2), 155-186.
- Laris, P., Wardell, D.A. (2006). Good, bad or 'necessary evil'? Reinterpreting the colonial burning experiments in the savanna landscapes of West Africa. *The Geographical Journal*, 172(4), 271-290.
- Le Page, Y., Oom, D., Silva, J.M.N., Jönsson, P., Pereira, J.M.C. (2010). Seasonality of vegetation fires as modified by human action: observing the deviation from eco-climatic fire regimes. *Global Ecology and Biogeography*, 10.1111/j.1466-8238.2010.00525.x.
- Mbow, C., Nielsen, T.T., Rasmussen, K. (2000). Savanna fires in East-Central Senegal: distribution patterns, resource management and perceptions. *Human Ecology*, 28(4), 561-583.
- Mbow, C., Sambou, B., Ba, A.T., Goudiaby, A. (2003). Vegetation and fire readiness in main morphological units of Niokolo Koba National Park (Southeast Senegal). *Danish Journal of Geography*, 103(1), 55-62.
- Morgan, P., Hardy, C. C., Swetnam, T. W., Rollins, M. G. e Long, D. G. (1999) Mapping fire regimes across time and space: Understanding coarse and fine-scale fire patterns. *International Journal of Wildland Fire*, 10, 329-342.
- MRNEGB (2009). *Estratégia Nacional e Plano de Acção para a Conservação da Diversidade Biológica na Guiné-Bissau*. Associação Académica da Faculdade de Direito de Lisboa, Portugal, 327 p.

- Nielsen, T.T. (2000). Satellite remote sensing of fire regimes in West Africa. PhD Dissertation. Institute of Geography, University of Copenhagen, Denmark.
- PAIGC (1974). *História: a Guiné e as Ilhas de Cabo Verde*. Paris, Paul Dupont, 182 p.
- Pereira, J.M.C., Sá, A.C.L., Sousa, A.M.O., Silva, J.M.N., Santos, T.N., Carreiras, J.M.B. (1999). Spectral characterisation and discrimination of burnt areas. Em *Remote Sensing of Large Wildfires in the European Mediterranean Basin* (E. Chuvieco, ed.), pp.123-138, Springer-Verlag, Berlim.
- Pyne, S.J. (2001). *Fire: A Brief History*. University of Washington Press, Seattle, EUA, 204 p.
- Quintino, F.R. (1971). *Pratica e utensilagem agrícola na Guiné*. Junta de Investigação do Ultramar, Lisboa, 124p.
- Richards, J.A., Xiuping, J. (2006). *Remote Sensing Digital Image Analysis. An Introduction* (2ª edição). Springer-Verlag, Berlim.
- Roberts, G., Wooster, M.J., Lagoudakis, E. (2009). Annual and diurnal African biomass burning temporal dynamics. *Biogeosciences*, 6, 849-866.
- Roy, D.P., Justice, C.O. (2002). Burned area mapping using multi-temporal moderate spatial resolution data - a bi-directional reflectance model-based expectation approach. *Remote Sensing of Environment*, 83, 263-286.
- Roy, D.P., Frost, P.G.H., Justice, C.O., Landmann, T., Le Roux, J.L., Gumbo, K., Makungwa, S., Dunham, K., Du Toit, R., Mhwandagara, K., Zacarias, A., Tacheba, B., Dube, O.P., Pereira, J.M.C., Mushove, P., Morissette, J.T., Santhana Vannan, S.K., Davies, D. (2005a). The Southern Africa Fire Network (SAFNet) regional burned-area product - validation protocol. *International Journal of Remote Sensing*, 26(19), 4265-4292.
- Roy, D.P., Jin, Y., Lewis, P.E., Justice, C.O. (2005b). Prototyping a global algorithm for systematic fire-affected area mapping using MODIS time series data. *Remote Sensing of Environment*, 97, 137-162.
- Roy, D.P., Boschetti, L., Justice, C.O., Ju, J. (2008). The collection 5 MODIS Burned Area Product - Global Evaluation by Comparison with the MODIS Active Fire Product. *Remote Sensing of Environment*, 112, 3690-3707.
- Rudel, T.K. (2005). *Tropical Forests: Regional Paths of Destruction and Regeneration in the Late Twentieth Century*. Columbia University Press, New York, USA, 237 p.
- Sardinha, R. (1991). O papel da árvore nos sistemas agrários da Guiné-Bissau. 1^{as} Jornadas sobre Agricultura da Guiné-Bissau. Museu Nacional de Etnologia, Lisboa, 4-6 Dezembro 1991, p. 183-205.
- Silva, J.M.N., Sá, A.C.L., Pereira, J.M.C. (2005). Comparison of burned area estimates derived from SPOT-VEGETATION and Landsat ETM+ data in Africa: Influence of spatial pattern and vegetation type. *Remote Sensing of Environment*, 96(2), 188-201.
- Strahler, A., Muchoney, D., Borak, J., Friedl, M., Gopal, S., Lambin, E., Moody, A. (1999). *MODIS Land Cover Product Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD)* (version 5).
- Temudo, M.P. (2009). A narrativa da degradação ambiental no Sul da Guiné-Bissau: uma desconstrução etnográfica. *Etnográfica*, 13(2), 237-264.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Teixeira, A.J.S. (1962) Os Solos da Guiné Portuguesa – Carta Geral, Características, Formação e Utilização. *Estudos, Ensaios, e Documentos da Junta de Investigação Científica do Ultramar*, 100. 397 p. + estampas + carta.
- Trigg, S., Flasse, S. (2000). Characterizing the spectral-temporal response of burned savannah using *in situ* spectroradiometry and infrared thermometry. *International Journal of Remote Sensing*, 21(16), 3161 – 3168.
- Vasconcelos, M. (2008). "Carboveg- Quantifying the carbon stocks and sink effects in the forests of Guinea – Bissau, A baseline for clean development projects", United Nations Climate Change Conference, Poznan, 11 Dec. 2008. Poznan Webcast
- Wardell, D.A., Nielsen, T.T., Rasmussen, K., Mbow, C. (2004). Fire history, fire regimes and fire management in West Africa: an overview. Em *Wildland Fire Management Handbook for Sub-Sahara Africa* (J.G. Goldammer, C. de Ronde, eds.), pp. 350-381, Global Fire Management Center.
- Xian, G., Crane, M. (2006). An analysis of urban thermal characteristics and associated land cover in Tampa Bay and Las Vegas using Landsat satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 104, 147-156.
- Zhang, G., Liu, J., Fei, W. (2008). Detection of Anomaly Temperature Based on ASTER and ETM+ Thermal Infrared Image. *Proceedings of the 2008 International Conference on Computer Science and Software Engineering*, pp. 241-244.